



**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil**

Paulo Henrique Junkes Furlanetto

Determinação de volumes médios diários anuais para a malha rodoviária federal brasileira por meio de ajuste de matriz origem-destino com base em dados do PNCT

1 de outubro de 2021

Paulo Henrique Junkes Furlanetto

Determinação de volumes médios diários anuais para a malha rodoviária federal brasileira por meio de ajuste de matriz origem-destino com base em dados do PNCT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo acadêmico Paulo Henrique Junkes Furlanetto à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho, Dr.-Ing.

1 de outubro de 2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Furlanetto, Paulo Henrique Junkes

Determinação de volumes médios diários anuais para a malha rodoviária federal brasileira por meio de ajuste de matriz origem-destino com base em dados do PNCT / Paulo Henrique Junkes Furlanetto ; orientador, Alexandre Hering Coelho, 2021.

189 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Engenharia de tráfego. 3. Volumes de tráfego. 4. Ajuste de matriz OD. I. Coelho, Alexandre Hering. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Paulo Henrique Junkes Furlanetto

Determinação de volumes médios diários anuais para a malha rodoviária federal brasileira por meio de ajuste de matriz origem-destino com base em dados do PNCT

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 1 de outubro de 2021

Prof. Liane Ramos da Silva, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca examinadora:

Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.-Ing.
Orientador

Prof. Luciana Rohde, Dra.
Membro

Anderson Schmitt, Me.
Membro

Agradecimentos

Ao Pai Celestial, que me ilumina e guarda;

Aos meus pais, Beto e Janete, os quais nunca mediram esforços para dar todo o suporte que precisei, por todo o amor incondicional e pelos ensinamentos de vida;

À minha família, em especial meu irmão João Vitor, por todo amor e carinho desde sempre;

À Universidade Federal de Santa Catarina, em defesa do ensino público, gratuito e de qualidade, pela importância do seu papel perante a sociedade, pela diversidade vivenciada, por todas as oportunidades, pelo crescimento pessoal e, principalmente, por proporcionar minha formação;

Ao Alexandre, pela orientação deste trabalho, sempre em busca da excelência, e por todo conhecimento repassado ao longo das disciplinas do curso de Engenharia Civil, cuja dedicação e profissionalismo admiro;

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, em especial aos programas do SNV e do PNCT, pela disponibilização dos dados que foram base deste trabalho;

Ao Eng. Anderson Schmitt, que obteve e organizou os dados de contagem e gentilmente forneceu para o uso neste trabalho;

Ao LabTrans, que me proporcionou a oportunidade de atuar em projetos da área de transportes, por todos os conhecimentos que contribuíram na minha formação;

A todos os amigos que fiz ao longo dessa jornada, por todos os momentos em que compartilhamos nossas felicidades e tristezas;

Ao Vinicius, Jefferson, Filipe e Tom pela irmandade, companheirismo e amizade construída ao longo desses anos;

À Nena, que desde muito cedo me acompanha em todas as conquistas da vida, pela amizade de tantos anos e por me mostrar o lado humano dentro das exatas;

Ao meu parceiro de vida Willian, pela compreensão e auxílio ao longo da construção deste trabalho e por estar sempre ao meu lado e fazer meus dias mais felizes;

A todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho;

Gratidão.

RESUMO

O conhecimento sobre a demanda em uma rede de transporte é essencial para a avaliação do seu desempenho. Dados de demanda são obtidos por meio da realização de contagens volumétricas e de pesquisas OD. As contagens são realizadas normalmente dentro de programas de caráter contínuo. Já as pesquisas OD são tradicionalmente feitas de forma esporádica por meio de entrevistas na via, no contexto de análise regional. O procedimento de ajuste de matriz OD possibilita a sua atualização, com base em dados de contagens mais recentes. Este trabalho visa determinar o VMDa na malha rodoviária federal brasileira para o ano de 2018, utilizando a matriz OD e dados históricos de contagem volumétrica disponibilizados pelo DNIT no PNCT e o *software* VISUM para o procedimento de ajuste de matriz. Para apoiar a estruturação e processamento dos dados, foram utilizados recursos de geoprocessamento, banco de dados e programação de computadores.

Palavras-chave: Engenharia de tráfego; Volumes de tráfego; Ajuste de matriz OD; PNCT; VISUM.

ABSTRACT

The knowledge about the demand in a transport network is essential to measure its performance. Demand data are obtained through traffic counts and OD survey. Traffic counts are usually performed within continuous count programs. OD surveys are traditionally performed in a sporadic way by road interviews, on a regional analysis context. The OD matrix adjustment process enables its update, based on recent count data. This work aims to determine AADT in Brazilian federal highway network for 2018 year, based on a OD matrix and historical traffic count data provided by DNIT through the PNCT and using the VISUM software to OD matrix procedure. To support data structuring and processing, geoprocessing, computer programming and database resources were used.

Key-words: Traffic engineering; Traffic volumes; OD matrix adjustment; PNCT; VISUM.

Lista de Figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Hierarquia de movimentos da classificação funcional | 11 |
| 2 | Estrutura de zonas e centroides em uma área de estudo | 17 |
| 3 | Construção de uma matriz de origem-destino | 18 |
| 4 | <i>Links</i> e nós em uma malha viária | 24 |
| 5 | Representação do grafo de uma infraestrutura viária real | 24 |
| 6 | Conectores em uma malha viária | 25 |
| 7 | Poligonal geográfica em uma malha viária | 26 |
| 8 | Processo de ajuste de matriz OD | 35 |
| 9 | Comparação entre os procedimentos de alocação de tráfego e ajuste de matriz OD . | 35 |
| 10 | Rodovias federais do SNV | 40 |
| 11 | Capturas de tela do endereço eletrônico do PNCT apresentando os dados de um posto do programa de contagem contínua | 41 |
| 12 | Amostra de dados da planilha eletrônica obtida do PNCT para um posto de contagem | 42 |
| 13 | Amostra de dados do arquivo CSV para um posto de contagem | 43 |
| 14 | Postos de contagem do PNCT | 44 |
| 15 | Divisão municipal brasileira disponibilizada pelo IBGE | 45 |
| 16 | Método do trabalho | 47 |
| 17 | Processos para o beneficiamento dos dados de infraestrutura | 50 |
| 18 | Processos para a consolidação dos dados da matriz OD | 51 |
| 19 | Processos para a criação e organização do banco de dados | 52 |
| 20 | Processos para a determinação do VMDa para os postos de contagem | 54 |
| 21 | Representação da lógica utilizada para adequação da matriz OD | 57 |
| 22 | Processos para o agrupamento de centroides e criação da nova matriz OD | 58 |
| 23 | Processos para o ajuste de matriz OD | 59 |
| 24 | Processos para a elaboração da representação gráfica dos resultados | 64 |
| 25 | Centroides dos municípios brasileiros | 65 |
| 26 | Postos de contagem de acordo com a validade de dados | 70 |
| 27 | Distribuição de postos de contagem de acordo com a abrangência da série histórica de conjuntos de dados válidos | 71 |
| 28 | VMDa nos postos de contagem para o ano de projeto | 72 |
| 29 | Configuração de centroides agrupados | 73 |
| 30 | Correção da malha viária no procedimento de checagem de conexão | 74 |
| 31 | Análise dos volumes observados e alocados na última iteração | 76 |
| 32 | VMDa global alocado na malha viária para o ano de projeto | 77 |

| | | |
|----|---|-----|
| 33 | Postos de contagem com inconformidades | 106 |
| 34 | Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 01 | 107 |
| 35 | Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 02 | 108 |
| 36 | Criação do atributo para armazenar as informações de VMDa advindas das contagens de tráfego (Etapa 02) | 109 |
| 37 | Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 03 | 110 |
| 38 | Interface gráfica do VISUM para a Etapa 04 | 111 |
| 39 | Interface gráfica do VISUM para a Etapa 05 | 112 |
| 40 | Interface gráfica do VISUM para a criação de uma nova matriz OD de demanda (Etapa 06) | 113 |
| 41 | Interface gráfica do VISUM para associação da matriz OD com a classe de modo de transporte privado (Etapa 06) | 114 |
| 42 | Interface gráfica do VISUM para a Etapa 07 | 115 |
| 43 | Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 08 | 116 |
| 44 | Configurações da operação de correção da matriz OD (Etapa 08) | 117 |

Lista de Tabelas

| | | |
|----|---|-----|
| 1 | Limitações das versões do VISUM | 4 |
| 2 | Relação entre as classes funcionais e classes de projeto | 12 |
| 3 | Características de malhas viárias nos contextos urbano e regional | 18 |
| 4 | Extensões da malha rodoviária federal do SNV | 39 |
| 5 | Classes de veículos dos dados de contagem do PNCT | 42 |
| 6 | Cenário temporal da pesquisa OD | 44 |
| 7 | Municípios ausentes na matriz OD | 46 |
| 8 | Configurações do equipamento utilizado neste trabalho | 49 |
| 9 | Correlação dos atributos na importação do arquivo <i>shapefile</i> da malha viária | 51 |
| 10 | Correlação dos atributos na importação do arquivo <i>shapefile</i> da malha viária | 61 |
| 11 | Cidades com nomes divergentes entre O IBGE e a Pesquisa OD | 66 |
| 12 | VMDa observado para os conjuntos de dados com completude anual | 66 |
| 13 | Fatores de expansão sazonal calculados para os conjuntos de dados com completude anual | 68 |
| 14 | Postos de contagem descartados | 70 |
| 15 | Resultados das iterações do <i>procedure sequence</i> | 75 |
| 16 | VMDa calculado para os postos de contagem do PNCT ao longo da série histórica analisada | 84 |
| 17 | Postos de contagem com inconformidades | 105 |

Lista de Siglas

- ANATEL** Agência Nacional de Telecomunicações.
- ANTT** Agência Nacional de Transportes Terrestres.
- CSV** *Comma-separated values*.
- CTB** Código de Trânsito Brasileiro.
- CNT** Confederação Nacional do Transporte.
- DNIT** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- HCM** *Highway Capacity Manual*.
- IBGE** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- ID** Identificador.
- ITS** *Intelligent Transportation Systems*.
- OD** Origem-destino.
- PNT** Pesquisa Nacional de Tráfego.
- PNCT** Plano Nacional de Contagem de Tráfego.
- QGIS** Quantum GIS.
- SAC** Secretaria Nacional de Aviação Civil.
- SFV** Sistema Federal de Viação.
- SHP** *Shapefile*.
- SIG** Sistema de Informações Geográficas.
- SNV** Sistema Nacional de Viação.
- SQL** *Structured Query Language*.
- SRL** Sistema de Referência Linear.
- SUMO** Simulation of Urban MObility.
- UCP** Unidades de Carro de Passeio.
- UTM** Unidades de Tráfego Misto.
- UF** Unidade da Federação.
- UFSC** Universidade Federal de Santa Catarina.
- VHP** Volume Horário de Projeto.
- VMD** Volume Médio Diário.
- VMDa** Volume Médio Diário Anual.
- VMDd** Volume Médio Diário em um Dia de semana.
- VMDm** Volume Médio Diário Mensal.
- VMDs** Volume Médio Diário Semanal.
- VMS** Volume Médio Semanal.

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Objetivos | 2 |
| 1.1.1 | Objetivo geral | 2 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 2 |
| 1.2 | Limitações do trabalho | 2 |
| 2 | Revisão bibliográfica | 6 |
| 2.1 | Volumes de tráfego | 6 |
| 2.1.1 | Aplicação de volumes de tráfego em estudos de engenharia | 9 |
| 2.1.2 | Contagens de tráfego | 13 |
| 2.1.3 | Matrizes de origem-destino | 16 |
| 2.1.4 | Plano Nacional de Contagem de Tráfego | 21 |
| 2.2 | Modelagem da malha viária | 23 |
| 2.2.1 | Sistema de Informações Geográficas | 25 |
| 2.3 | Expansão volumétrica | 26 |
| 2.4 | Métodos diretos de previsão de demanda | 29 |
| 2.4.1 | Projeção linear | 29 |
| 2.4.2 | Linha de tendência | 30 |
| 2.5 | Alocação de tráfego | 30 |
| 2.5.1 | Métodos de alocação de tráfego | 31 |
| 2.6 | Ajuste de matrizes OD | 33 |
| 2.6.1 | Procedimento de ajuste de matriz OD no VISUM | 36 |
| 3 | Área de estudo | 38 |
| 3.1 | Infraestrutura viária | 38 |
| 3.2 | Contagens de tráfego | 40 |
| 3.3 | Matriz origem-destino | 43 |
| 4 | Método | 47 |
| 4.1 | Materiais | 48 |
| 4.2 | Beneficiamento dos dados de infraestrutura | 49 |
| 4.3 | Elaboração dos dados da matriz OD | 50 |
| 4.4 | Criação e organização do banco de dados | 52 |
| 4.5 | Determinação do VMDa para os postos de contagem | 53 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.6 | Agrupamento de centroides e criação da nova matriz OD | 56 |
| 4.7 | Ajuste de matriz OD | 58 |
| 4.8 | Elaboração da representação gráfica dos resultados | 63 |
| 5 | Resultados | 65 |
| 5.1 | Elaboração dos dados da matriz OD | 65 |
| 5.2 | Determinação do VMDa para os postos de contagem | 65 |
| 5.3 | Agrupamento de centroides e criação da nova matriz OD | 73 |
| 5.4 | Procedimentos no VISUM | 73 |
| 5.5 | Representação gráfica dos resultados de VMDa para a malha viária | 75 |
| 6 | Conclusões | 78 |
| 6.1 | Recomendações para trabalhos futuros | 80 |
| | Referências | 81 |
| A | VMDa calculado por posto de contagem do PNCT | 84 |
| B | Inconformidades nos postos de contagem | 105 |
| C | Interfaces gráficas do VISUM para a aplicação do método | 107 |
| D | <i>Script</i> para criar e organizar o banco de dados | 118 |
| E | <i>Script</i> para inserção dos registros dos postos de contagem no banco de dados | 126 |
| F | <i>Script</i> para análise de completude e cálculo de VMDa, de VMDm e de fatores de expansão dos conjuntos de dados | 131 |
| G | <i>Script</i> para associação entre conjuntos de dados e cálculo de VMDa expandido | 138 |
| H | <i>Script</i> para verificar a série histórica de conjunto de dados válidos dos postos de contagem | 142 |
| I | <i>Script</i> para projetar o VMDa dos postos para o ano de projeto | 145 |
| J | <i>Script</i> para associar os dados de VMDa com <i>links</i> na camada de rodovias | 154 |
| K | <i>Script</i> para adequar a camada de centroides das cidades | 156 |
| L | <i>Script</i> para para criar a matriz OD de centroides agrupados | 159 |

| | | |
|---|--|-----|
| M | <i>Script</i> para associar dados de VMDa com a malha | 163 |
| N | <i>Script</i> para criar a tabela de localização geográfica dos postos de contagem | 166 |
| O | <i>Script</i> que automatiza o <i>download</i> dos dados de contagem do PNCT | 168 |
| P | <i>Script</i> que organiza os dados de contagem do PNCT | 173 |

1 Introdução

O conhecimento sobre a demanda atuante na infraestrutura viária é essencial para o desenvolvimento de análises de estudos nos cenários de planejamento, projeto ou operação do modo de transporte rodoviário. Em sua forma mais básica, a demanda atuante em uma via é representada pelo seu volume de veículos.

O modo de transporte rodoviário é, tradicionalmente, o mais difundido pelo país. Segundo dados do Boletim Estatístico de fevereiro de 2019 da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019), mais de 88 milhões de passageiros trafegam anualmente pelo modo rodoviário, e este tem participação em 61,1% da matriz do transporte de cargas nacional. Assim, o conhecimento sobre a distribuição desta demanda na malha rodoviária federal é fundamental para o bom gerenciamento do sistema.

A coleta de dados sobre a demanda de tráfego é necessária para uma avaliação da infraestrutura viária quanto ao seu desempenho passado e atual e para prever o seu desempenho futuro. De acordo com o que coloca FHWA (2016), os programas de coleta de dados de tráfego visam o monitoramento dos volumes apenas nos segmentos mais importantes da malha viária, de forma a fornecer insumos para o gerenciamento de tráfego. Neste contexto, para a determinação dos volumes de tráfego em todos os segmentos de uma malha viária é necessária a obtenção de dados de fontes complementares que identifiquem os padrões de tráfego na área de estudo.

Pesquisas de origem-destino (OD) fazem um levantamento amostral dos desejos de viagem em uma área de estudo, identificando os padrões de tráfego, os quais são posteriormente expandidos para representar os quantitativos estimados da demanda de tráfego, resultando em uma matriz de viagens, chamada de matriz OD. Entretanto, a execução de pesquisas OD requer tempo e uma quantidade relativamente grande de recursos financeiros, dificultando o monitoramento constante dos padrões de viagens armazenados.

No Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), no âmbito do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), faz o monitoramento de volumes de tráfego nas rodovias federais brasileiras desde 1975. Atualmente o Programa de Contagem Contínua do PNCT faz o levantamento sistemático de dados de tráfego em 319 postos de contagem. Além disso, entre os anos de 2016 e 2017, foi aplicada a Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT), uma pesquisa OD atrelada ao PNCT que visou quantificar a demanda de viagens para a malha rodoviária federal.

O procedimento de ajuste de matriz OD possibilita a atualização dos dados de demanda de uma matriz existente, aproximando os volumes alocados por esta dos volumes observados a partir de contagens de campo e, de forma complementar, possibilita a determinação dos volumes de tráfego em segmentos de uma malha viária não monitorados pelos programas de contagem.

Ao considerar as restrições operacionais e orçamentárias que inviabilizam a contagem volumétrica em todos os segmentos de uma malha viária e o monitoramento constante dos padrões de tráfego por meio de pesquisas OD, a exploração de procedimentos de ajuste de matrizes OD para a determinação de volumes de tráfego é identificada como uma alternativa viável para o monitoramento contínuo dos volumes de tráfego em todos os segmentos da malha rodoviária federal brasileira.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar volumes médios diários anuais para a malha rodoviária federal brasileira no ano de 2018, com base em dados disponibilizados pelo PNCT e explorando o procedimento de ajuste de matrizes OD.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são os seguintes:

- a) aplicar de forma unificada conhecimentos gerais de engenharia de tráfego e planejamento de transportes;
- b) explorar os dados disponibilizados pelo DNIT no PNCT e no SNV;
- c) explorar recursos de geoprocessamento para apoiar a estruturação de dados e a aplicação de processamentos;
- d) verificar procedimentos sistemáticos nos quais a automatização por meio de programação de computadores possa ser potencialmente útil e realizar as respectivas implementações computacionais;
- e) identificar os procedimentos nos quais a automatização seria de difícil aplicação e analisar os motivos.

1.2 Limitações do trabalho

Uma análise prévia de todos os dados envolvidos no desenvolvimento deste trabalho mostrou que estes não apresentam limitações em uso, tendo em vista que todos os recursos computacionais necessários para efetuar o processamento dos dados pode ser apoiado em linguagem de programação e banco de dados do tipo objeto-relacional de código aberto, com recursos que apoiam o processamento de objetos geográficos.

Entretanto, especificamente para a aplicação do procedimento de ajuste de matriz OD foi necessária uma investigação dos recursos oferecidos por programas computacionais (*softwares*), devido

ao fato de que este é um procedimento relativamente complexo dentro da engenharia de tráfego, como é apresentado na Seção 2.6. Assim, foram elencadas as seguintes alternativas, em ordem de prioridade, com o objetivo de buscar recursos disponíveis para a execução do procedimento de ajuste de matriz OD:

1. *Softwares* livres (não-comerciais) que ofereçam os recursos necessários para o desenvolvimento do trabalho;
2. Implementação própria, por meio da programação de um modelo matemático que execute o procedimento;
3. *Softwares* comerciais que ofereçam os recursos necessários em uma licença para trabalhos acadêmicos.

Como primeira alternativa, o trabalho buscou utilizar *softwares* livres¹, de modo a não possuir limitações em seu desenvolvimento. A pesquisa encontrou apenas o *software* Simulation of Urban MObility (SUMO), mantido atualmente pela organização canadense Eclipse², todavia este não apresentou recursos suficientes para a execução do trabalho, pois seu procedimento de ajuste de matriz OD não permite o uso de uma matriz inicial como dado de entrada³, acarretando no descarte desta alternativa.

O desenvolvimento de uma implementação própria envolveu a pesquisa por modelos matemáticos que descrevessem o procedimento de ajuste de matriz OD de forma detalhada e que apresentassem uma implementação computacional simples. Todavia, esta alternativa foi descartada, pois os resultados da busca apresentaram uma complexidade incompatível com o contexto deste trabalho, tendo em vista que os métodos pesquisados não eram suficientemente detalhados, dificultando uma possível implementação computacional.

Descartadas as possibilidades de usar *softwares* livres e de desenvolver a própria implementação do procedimento de ajuste de matriz OD, a alternativa restante ao trabalho foi o uso de *softwares* comerciais. A pesquisa adotou como premissa não adquirir licenças de softwares, de modo que estes só poderiam ser empregados se oferecessem versões para trabalhos acadêmicos, possivelmente com limitações, mas que oferecessem recursos suficientes para o desenvolvimento deste trabalho. Assim, foi feita uma busca nos *softwares* comerciais que estariam disponíveis para fazer o procedimento de ajuste de matriz OD, sendo encontrados os seguintes:

- Aimsun Next, da empresa espanhola Aimsun⁴;

¹ *Softwares* livres são aqueles que possuem seu código-fonte disponibilizado de forma aberta e oferecem ao usuário a possibilidade de usufruir de todos os recursos implementados sem qualquer custo.

² Disponível em: <<https://www.eclipse.org/sumo>>, acesso em: 11/09/2021.

³ Na literatura podem ser encontrados relatos de diferentes métodos utilizados para o ajuste de matriz OD. Dentre eles, são encontrados métodos que usam apenas de dados de contagem, sem utilizar uma matriz OD semente.

⁴ Disponível em: <<https://www.aimsun.com>>, acesso em: 11/09/2021.

- CUBE Voyager, da empresa estadunidense Bentley⁵;
- Emme, da empresa canadense INRO⁶;
- TransCAD da empresa estadunidense Caliper⁷;
- VISUM, da empresa alemã Planung Transport Verkehr (PTV Group)⁸.

O *software* VISUM apresenta todos os recursos necessários para a execução do procedimento de ajuste de matriz OD. A experiência obtida com a disciplina de Planejamento de Transportes Urbanos, do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), possibilitou uma familiarização inicial com o *software*. Por isso, o VISUM foi adotado para o trabalho e não foram feitas maiores pesquisas para identificar outras alternativas.

O VISUM disponibiliza duas versões que condizem com o contexto do desenvolvimento deste trabalho, a estudantil (*student license*) e a *free trial*, cujas respectivas limitações são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Limitações das versões do VISUM

| Limitações | Versão do VISUM | |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|
| | <i>Free trial</i> | Estudantil |
| Duração da licença | 30 dias | 1 ano |
| Duração da sessão de uso | 2 horas | 45 minutos |
| Salvamento do modelo | Não | Sim ⁹ |
| Exportação direta dos resultados | Não | Sim |
| Número máximo de zonas (centroides) | 3000 | 30 |
| Número máximo de <i>links</i> | Ilimitado | 1500 |
| Interface COM | Desabilitada | Habilitada |

Fonte: Endereço eletrônico das versões do VISUM¹⁰¹¹

⁵Disponível em: <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/mobility-simulation-and-analytics/cube-voyager>>, acesso em: 11/09/2021.

⁶Disponível em: <<https://www.inrosoft.com/en/products/emme>>, acesso em: 11/09/2021.

⁷Disponível em: <<https://www.caliper.com/tcovu.htm>>, acesso em: 11/09/2021.

⁸Disponível em: <<https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/>>, acesso em: 11/09/2021.

⁹O salvamento do modelo é permitido na versão estudantil desde que sejam respeitadas as limitações de número máximo de zonas e *links*.

¹⁰Limitações da versão *free trial* disponível em: <<https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/demo-version>>, acesso em: 11/09/2021.

¹¹Limitações da versão estudantil disponível em: <<https://your.visum.ptvgroup.com/vision-traffic-suite-student-s-en>>, acesso em: 11/09/2021.

Tendo em vista as limitações apresentadas por cada uma das versões, este trabalho desenvolveu uma estratégia de uso do *software*, de modo a explorar as respectivas vantagens oferecidas. Em um primeiro momento foi utilizada a versão estudantil para experimentação e treinamento do procedimento a ser executado, para que, posteriormente, fosse utilizada a versão *free trial* para a execução do procedimento com os dados do trabalho.

Adicionalmente, abrangendo todos os dados deste trabalho, é destacado que o grau de sofisticação adotado nos procedimentos executados para atingir o objetivo geral deve estar compatível com os recursos de tempo associados ao contexto do desenvolvimento de um TCC.

2 Revisão bibliográfica

Esta seção apresenta os principais conceitos envolvidos com o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente são apresentados os conceitos relacionados com os dados deste trabalho, que podem ser divididos em dados de demanda e dados de infraestrutura. Os dados de demanda se dividem em dados de contagem e dados de matriz OD, enquanto os dados de infraestrutura são relacionados a modelagem da malha viária (estrutura de grafo). Por fim são apresentados conceitos relacionados a procedimentos de cálculo da engenharia de tráfego, sendo eles expansão volumétrica, projeção de demanda, alocação de tráfego e ajuste de matriz OD.

2.1 Volumes de tráfego

Esta seção apresenta conceitos técnicos relacionados com volumes de tráfego, bem como suas principais aplicações em estudos de engenharia. Além disso, é abordado sobre a contagem de volumes nas vias e matrizes origem-destino. Por fim, é apresentado sobre o PNCT, referência nacional na coleta de volumes de tráfego, e seus principais resultados.

Virtualmente, todos os aspectos da engenharia de tráfego requerem volumes como dado de entrada, configurando estes como uma medida primária de demanda (MCSHANE; ROESS; PRASSAS, 2004). O conhecimento sobre o volume, e demais informações associadas aos padrões de tráfego, permite:

- o planejamento da infraestrutura rodoviária, com o desenvolvimento de estudos de viabilidade, além de projetos geométricos de estradas e de construção e conservação de pavimentos;
- a classificação técnica das rodovias;
- a análise operacional e determinação do nível de serviço das rodovias;
- a análise da viabilidade econômica de projetos, sob a ótica da tendência de crescimento do tráfego;
- avaliar a segurança rodoviária, fazendo estimativas sobre o número de acidentes.

Elefteriadou (2016) coloca que o conceito de volume deriva do conceito de fluxos de tráfego, de modo que fluxo é matematicamente definido como a taxa de veículos que passa por um ponto determinado, ou segmento de via, em uma unidade de tempo. Segundo McShane, Roess e Prassas (2004), o fluxo de tráfego nas vias pode ser classificado em dois tipos:

- a) fluxo ininterrupto, é aquele que não possui dispositivos externos influenciando o tráfego, causando interrupções periódicas no fluxo de veículos, como intersecções em nível com outras

vias, semáforos, lombadas e placas de "PARE" ou "PREFERÊNCIA". Um fluxo ininterrupto puro existe apenas em rodovias rurais do tipo *freeway*¹².

- b) fluxo interrompido, é aquele em que estes dispositivos externos que influenciam o tráfego da via estão presentes e interrompem o fluxo periodicamente. O traçado de vias urbanas proporciona tipicamente vias de fluxo interrompido.

Elefteriadou (2016) coloca que as informações sobre os fluxos de tráfego auxiliam na caracterização de parâmetros para análises operacionais de rodovias. Segundo McShane, Roess e Prassas (2004), estes parâmetros podem ser classificados em macroscópicos, que descrevem o fluxo de tráfego como um todo, analisando movimentos de veículos de forma comunitária, e microscópicos, que descrevem o fluxo de tráfego a partir do comportamento individual de cada veículo.

Quando um fluxo de tráfego é observado em um determinado local por um período de tempo estabelecido, este é definido como volume. A composição do volume de tráfego inclui todos os veículos que circulam pela via, podendo estar segmentado por sentido, ou ainda por faixas. O conhecimento de características como tamanho, peso e velocidade dos diferentes tipos de veículos que compõem os volumes, segundo Brasil (2006), é essencial pelas seguintes razões:

- os efeitos que exercem os veículos entre si dependem de suas características. A composição dos volumes que passam por uma via influi em sua capacidade;
- as percentagens de veículos de grandes dimensões determinam as características geométricas que devem ter as vias, e os seus pesos as características estruturais;
- os recursos que podem ser obtidos dos usuários de uma via, dependem entre outros fatores, da composição do seu tráfego.

Quando o volume for representado pela soma dos veículos, independentemente de suas categorias, ele será expresso em "Unidades de Tráfego Misto" (UTM). Por outro lado, se os veículos componentes daquela soma forem convertidos em números equivalentes de carros de passeio, adotando fatores de equivalência, o volume será então expresso em "Unidades de Carro de Passeio" (UCP) (BRASIL, 2006).

ITE (2016) coloca que as principais agregações temporais para observação de fluxos de tráfego são a diária (volume diário) e a horária (volume horário). Uma das características mais importantes do fluxo de tráfego, segundo Brasil (2006), é a sua variação generalizada, variando dentro da hora, ao longo do dia, da semana, do mês e do ano, além de variar em um mesmo local, de acordo com a faixa de tráfego analisada.

¹²Segundo TRB (2016) uma rodovia do tipo *freeway* deve ser dividida, ter controle total de acessos e ter ao menos duas faixas em cada sentido de tráfego.

McShane, Roess e Prassas (2004) apresentam que o volume horário tem como objetivo a análise operacional das vias por meio das variações do fluxo de tráfego ao longo das horas do dia, e é representado na unidade de veículos por hora (veh/h). Brasil (2006) destaca que estas variações apresentam pontos máximos acentuados, designados por picos, os quais registram os maiores volumes horários da via em um dia e são denominados de hora de pico.

Os volumes diários por sua vez representam a média do volume de veículos que circulam durante 24 horas em um trecho de via, sendo assim designados de "Volume Médio Diário" (VMD) e são representados na unidade de veículos por dia (veh/dia). De acordo com o período de tempo adotado para o cálculo, Brasil (2006) conceitua os seguintes tipos de VMD:

- Volume Médio Diário Anual (VMDa), representa o volume médio de veículos durante 24h, considerando todos os dias do ano em uma determinada localização da via;
- Volume Médio Diário Mensal (VMDm), representa o volume médio de veículos durante 24h, considerando todos os dias do respectivo mês em uma determinada localização da via;
- Volume Médio Diário Semanal (VMDs), representa o volume médio de veículos durante 24h, considerando todos os dias da semana de um respectivo mês em uma determinada localização da via;
- Volume Médio Diário em um Dia de Semana (VMDd), representa o volume médio de veículos durante 24h de dia qualquer da semana de um respectivo mês em uma determinada localização da via;

Segundo ITE (2016), o período de análise de dados para o cálculo do VMD pode variar conforme as circunstâncias associadas a cada local. Neste contexto, de maneira complementar, são conceituados outros tipos de VMD:

- Volume Médio Diário Anual para dias úteis (*Annual average weekday traffic*, da sigla inglesa AAWT), representa o volume médio de veículos durante 24h, considerando apenas os dias úteis (de segunda à sexta-feira) do ano em uma determinada localização da via;
- Volume Médio Diário de um dia útil (*Average weekday daily traffic*, da sigla inglesa AWT), representa o volume médio de veículos durante 24h de um dia útil qualquer de um respectivo mês em uma determinada localização da via;
- Volume Médio Diário Anual para finais de semana (*Annual average weekend traffic*, da sigla inglesa AAWET), representa o volume médio de veículos durante 24h, considerando apenas os dias de final de semana (sábado e domingo) do ano em uma determinada localização da via;

- Volume Médio Diário de um final de semana (*Average weekend daily traffic*, da sigla inglesa AWET), representa o volume médio de veículos durante 24h de um dia de final de semana qualquer de um respectivo mês em uma determinada localização da via;

Os tipos de VMD conceituados por ITE (2016) têm como premissa segmentar a análise do comportamento do tráfego entre os dias úteis e os dias de final de semana, de modo a identificar os respectivos padrões de tráfego. Contudo, não é comum a sua aplicação em estudos de engenharia de tráfego no Brasil.

Campos (2013) coloca que, para um adequado planejamento de transportes, é necessário ter conhecimento sobre demanda existente. Segundo Mohamad et al. (1998) e Brasil (2006), o VMDa, ou simplesmente VMD, é o volume de tráfego de maior importância para estudos, enquanto os demais, geralmente, são utilizados como amostras a serem ajustadas e expandidas para determinação do VMDa. Esta importância está relacionada com a sazonalidade na observação dos demais tipos de VMD, de modo que apenas o VMDa consegue expressar uma média de toda a demanda da via.

2.1.1 Aplicação de volumes de tráfego em estudos de engenharia

Esta seção apresenta as principais aplicações de volumes de tráfego no contexto de estudos de engenharia.

Volume horário de projeto Brasil (2006) denota que, em uma situação ideal, o projeto de uma rodovia consiste em planejá-la com características para atender à máxima demanda horária prevista para o ano de projeto, de modo que em nenhuma hora do ano ocorreria congestionamento. Todavia, tal premissa leva a rodovia a ficar superdimensionada durante as demais horas do ano. Assim, o dimensionamento da rodovia deve prever um certo número de horas congestionadas e tomar a decisão de qual número é aceitável para a adoção do Volume Horário de Projeto (VHP).

A partir de contagens horárias contínuas para o período de um ano inteiro, o VMDa de uma rodovia é utilizado para a determinação do VHP pelo critério denominado "curva da enésima hora", que, segundo Brasil (2006), consiste na ordenação decrescente de todos os volumes horários anuais, expressos em percentagem do VMD. McShane, Roess e Prassas (2004) exemplificam que, listados em ordem decrescente todos os volumes horários ao longo de um ano, em uma determinada localidade, o VHP da enésima hora de pico corresponde a um volume que será excedido apenas durante " $n - 1$ " horas ao longo do ano.

O critério da enésima hora sugere que a escolha de um fator K (relação entre o VHP e o VMDa) a ser usado no projeto é aquele fornecido pelo trecho onde a curva muda rapidamente de declividade. A prática habitual nos Estados Unidos determina, como base de projeto, um volume entre a 30^a e a 100^a hora. Para rodovias rurais, frequentemente utiliza-se o volume da 30^a hora. No Brasil, a

escolha do VHP para rodovias rurais é mais tolerante, sendo comum a adoção do volume da 50ª hora, nos locais em que se dispõe de contagens. Para rodovias em que não existem informações precisas do comportamento do tráfego, um fator $K = 8,5\%$ do VMD, tem sido adotado como representativo da 50ª hora (BRASIL, 2006).

Segurança viária Brasil (1982) conceitua que pontos críticos são os locais que apresentam as maiores taxas de acidentes de trânsito, devendo prioritariamente receber melhoria, visando controlar o problema. De acordo com Cardoso (2018), para a correta determinação de pontos críticos em rodovias, há a necessidade da coleta de dados de volume de tráfego e de registro de acidentes.

Para a identificação destes pontos críticos é necessário trabalhar com taxas de acidentes de trânsito, as quais relacionam o número de acidentes com um indicador da movimentação dos veículos. Brasil (1982) apresenta um método cuja premissa é associar o montante de acidentes, em determinado segmento da via, com os respectivos dados de VMDa.

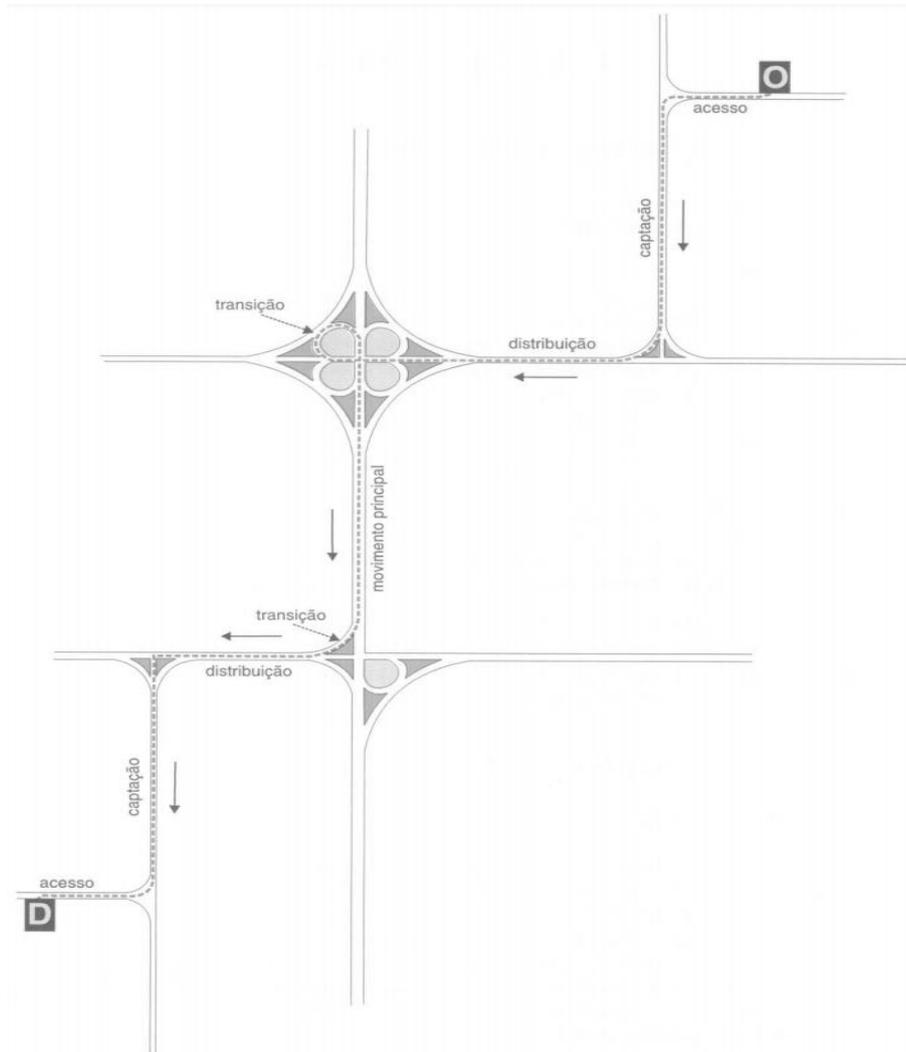
Classificação de rodovias A classificação das rodovias tem como objetivo organizar os diferentes tipos de vias de tráfego, conforme critérios técnicos e administrativos, para fornecer subsídios ao planejamento das rodovias. De acordo com Brasil (1999), os movimentos dentro de uma malha rodoviária incluem diferentes estágios:

- Acesso, é o estágio inicial ou final de uma viagem, em que é utilizada uma via de pouco movimento (Local) para acesso à localidade de origem ou destino;
- Captação, é o segundo ou penúltimo estágio, feito em vias destinadas à coleta do tráfego das vias locais (Coletoras Primária/Secundária);
- Distribuição, é o terceiro ou antepenúltimo estágio, executado em vias com capacidade superior às de captação (Arterial Secundário);
- Transição, é o quarto estágio, realizado por de uma rampa de acesso ou ramal de intersecção e a conexão entre as vias de distribuição e movimento principal;
- Movimento principal, é o quinto estágio, executado em uma via de alto padrão (Arterial Principal/Primário).

A Figura 1 apresenta a hierarquia de movimentos da classificação funcional. Deste modo, com base nos tipos de movimentos e o caráter do serviço que é prestado, Brasil (1999) enquadra as rodovias rurais brasileiras de acordo com a seguinte classificação funcional:

- a) Sistema Arterial, subdividido em Principal, Primário e Secundário;
- b) Sistema Coletor, subdividido em Primário e Secundário;

Figura 1: Hierarquia de movimentos da classificação funcional



Fonte: Brasil (1999)

c) Sistema Local.

As vias do sistema arterial têm a finalidade de proporcionar um alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego, conectando áreas de grande densidade populacional e outros polos geradores que atraiam viagens de longa distância. O subsistema arterial principal contempla rodovias que atendam viagens internacionais e interregionais, possuindo uma extensão de malha correspondente entre 2,0% e 3,5% da rede rodoviária e possui velocidades de operação entre 60 e 120 km/h (BRASIL, 1999).

O subsistema arterial primário contempla rodovias que atendam viagens interregionais e interestaduais não atendidas por rodovias de nível superior, possuindo uma extensão de malha correspondente entre 1,5% e 3,5% da rede rodoviária e possui velocidades de operação entre 50 e 100 km/h. Já o

subsistema arterial secundário contempla rodovias que atendam, essencialmente, a viagens intraestaduais, possuindo uma extensão de malha correspondente entre 2,5% e 5,0% da rede rodoviária e possui velocidades de operação entre 40 e 80 km/h (BRASIL, 1999).

O sistema coletor que é constituído por rodovias que dão acesso a centros urbanos não atendidos pelo sistema arterial, de modo a complementar a malha formando uma rede contínua que possibilita a conexão com áreas de menor volume de tráfego. O subsistema coletor primário tem a função de atender fluxos intermunicipais e dar acesso à polos geradores de viagens afastados de rodovias de nível superior, enquanto o subsistema coletor secundário tem a função de dar acesso à áreas de baixa densidade populacional. A extensão da malha dos sistemas coletor primário e secundário corresponde entre 14% e 23% da rede rodoviária e possui velocidades de operação entre 30 e 70 km/h (BRASIL, 1999).

O sistema local que é constituído por rodovias de curta extensão com o objetivo de proporcionar acesso ao tráfego intramunicipal, de áreas rurais e pequenas localidades, às rodovias de nível superior, geralmente pertencentes ao sistema coletor. A extensão da malha do sistema local corresponde entre 65% e 80% da rede rodoviária e possui velocidades de operação entre 20 e 50 km/h (BRASIL, 1999).

Para fins de projeto geométrico de rodovias ruais, os trechos integrantes da rede nacional são agrupados em cinco classes de rodovias, numeradas de 0 a IV. Além do VMDa, os principais critérios para a definição da classe de um trecho de rodovia, de acordo com Brasil (1999), são a posição hierárquica dentro da classificação funcional e o nível de serviço da via. A Tabela 2 apresenta a relação entre as classes funcionais e classes de projeto.

Tabela 2: Relação entre as classes funcionais e classes de projeto

| Sistema | Classes Funcionais | Classes de Projeto |
|----------|--------------------|--------------------|
| Arterial | Principal | Classes 0 e I |
| | Primário | Classe I |
| | Secundário | Classes I e II |
| Coletor | Primário | Classes II e III |
| | Secundário | Classes III e IV |
| Local | Local | Classes III e IV |

Fonte: Brasil (1999)

Determinação do nível de serviço de uma via De acordo com Brasil (2006), o objetivo da determinação da capacidade de uma via é quantificar o seu grau de suficiência para acomodar os volumes de tráfego existentes e previstos, permitindo que haja uma correta avaliação técnica e

econômica para o planejamento da infraestrutura viária. Todavia, a capacidade é um parâmetro básico, e sozinha não descreve as condições de operação de uma via.

Sob esta perspectiva foi criado o conceito de Nível de Serviço, que utiliza, além da capacidade, parâmetros como velocidade, tempo de percurso, facilidade de manobras, segurança, conforto e custos de operação, possibilitando uma avaliação do grau de eficiência do serviço oferecido pela via desde um volume quase nulo até o volume máximo (capacidade da via) (BRASIL, 2006).

De acordo com o *Highway Capacity Manual* (HCM) (TRB, 2016), bibliografia recomendada por Brasil (2006) para o cálculo do nível de serviço das vias, são definidos 6 níveis que classificam a qualidade do serviço da via, variando de A até F, onde A representa as melhores condições de operação da via e F as piores.

Para a aplicação dos volumes de tráfego para o cálculo do nível de serviço pelo método proposto pelo HCM (TRB, 2016), os volumes de tráfego são convertidos para a unidade de carros de passeio e possuem a agregação temporal horária, ou de 15 minutos.

Cálculo do número N Conforme é apresentado em Brasil (2006), o VMDa também é um elemento necessário para a determinação do "Número N", que corresponde à avaliação da solicitação do tráfego, e é um componente essencial do processo de dimensionamento do pavimentos. Em rodovias a serem pavimentadas pela primeira vez, o VMDa é obtido por meio de estudos detalhados sobre a demanda prevista e a respectiva projeção dos volumes para o ano de projeto. Para projetos de restauração de pavimentos é conveniente monitorar o tráfego que atuou sobre o pavimento desde a última intervenção, tendo com base contagens efetuadas no passado, e em estudos e projetos anteriormente elaborados, visando analisar o comportamento das soluções previamente empregadas.

2.1.2 Contagens de tráfego

Para FHWA (2016), o monitoramento de tráfego é realizado com o objetivo de coletar dados que descrevam o uso e a performance de um sistema viário, de tal modo que, segundo McShane, Roess e Prassas (2004), as contagens são o mais básico dos estudos relacionados à engenharia de tráfego.

Brasil (2006) define que existem dois locais básicos para a realização das contagens de tráfego: nos trechos entre as intersecções, chamados de trechos contínuos, e nas intersecções. As contagens em trechos contínuos têm o objetivo de monitorar os volumes de tráfego em determinado segmento de via. As contagens em intersecções têm o objetivo de monitorar os volumes nos movimentos entre vias que se interceptam. Este trabalho aborda apenas contagens em trechos contínuos, de tal modo que não são aprofundados os conceitos sobre contagem em intersecções.

FHWA (2016) e Brasil (2006) apresentam que as contagens de tráfego podem ser realizadas por meio de dois métodos:

- a) contagens manuais;

b) contagens automáticas.

Nas contagens manuais, os dados levantados no monitoramento de tráfego são contabilizados a partir da observação visual feita por pesquisadores, com o auxílio de fichas e/ou contadores manuais. Por este método podem ser registrados os volumes, em segmentos da via ou em intersecções, taxa de ocupação e a classificação dos veículos e é fundamental a anotação de quaisquer fatores que dificultem ou possam falsear os resultados das contagens, como interrupções por acidentes, obras ou problemas na via (BRASIL, 2006).

Guimarães (2001) coloca que as contagens manuais têm a vantagem de ser de fácil operação, com maior precisão e completude de dados obtidos, dependendo da quantidade de pessoas envolvidas, todavia apresenta um alto custo por hora de contagem. Além disso, ITE (2016) destaca que o método está sujeito a imprecisões inerentes ao comportamento do pesquisador, devendo este tomar ações que visem minimizar o risco de interferência nos dados coletados e que favoreçam a segurança da equipe de coleta.

As contagens automáticas, de acordo com FHWA (2016), são aquelas onde a coleta de dados de tráfego é feita com o auxílio de equipamentos automáticos designados a continuamente registrar a distribuição e a variação dos volumes de tráfego em agregações temporais pré-definidas (como por exemplo, 5 minutos, 15 minutos, hora do dia, dia da semana, entre outros).

Brasil (2006) apresenta que os equipamentos de contagens automáticas podem ser fixos ou portáteis e possuem a vantagem de permitir contagens de longa duração à um baixo custo por hora. Entretanto, o método apresenta a desvantagem de ter um custo inicial elevado com a instalação dos equipamentos, além destes estarem sujeitos a roubos e vandalismo, de modo que não há viabilidade financeira para a realização de contagens em todos os segmentos de uma malha viária.

De acordo com FHWA (2016), as tecnologias dos equipamentos automatizados mais utilizados para obter dados de tráfego são:

- laços indutivos;
- sensores piezoelétricos;
- tubos pneumáticos;
- magnetômetros de eixo duplo;
- sensores magnéticos;
- radar de micro-ondas em frequência moderada;
- radar de micro-ondas de onda contínua (*Doppler*);
- sensor infravermelho ativo (radar laser);
- sensor infravermelho passivo;

- sensor ultrassônico;
- detector acústico;
- sistema de detecção por vídeo.

O equipamento de contagem automática, ou a equipe de contagem manual, é instalado em um ponto determinado da rodovia para o registro dos dados de monitoramento de tráfego (FHWA, 2016). Esta localização é chamada de posto de contagem e deve representar as características de um segmento de via, de acordo com sua classificação funcional, situação geográfica, relação com zonas urbanas e industriais, além da magnitude do volume de tráfego (BRASIL, 2006). Guimarães (2001) destaca que os postos de contagem devem estar distribuídos em número suficiente e de maneira a cobrir toda a região em estudo, de modo a identificar as características do tráfego.

Para estudos em rodovias rurais, Brasil (2006) e FHWA (2016) denotam que são utilizados os seguintes tipos de postos de contagem:

- a) Postos permanentes, são aqueles instalados permanentemente nos locais em que desejam obter uma série contínua de dados de tráfego, visando determinar distribuições temporais e estimativas de tendência para os volumes, além dos fatores de expansão de tráfego. Estes postos contabilizam os volumes 24h por dia durante todos os dias do ano;
- b) Postos sazonais, são aqueles destinados a determinar a variação dos volumes de tráfego durante o ano. Estes são divididos em principais, onde se realiza uma contagem contínua de uma semana em cada mês, ou durante um mínimo de três dias da semana, um sábado e um domingo consecutivos a cada dois meses, e secundários, onde se realizam contagens a cada dois ou três meses, durante dois a cinco dias consecutivos da semana;
- c) Postos de cobertura, são aqueles instalados com o objetivo de completar o monitoramento da malha, sobretudo em vias de menor fluxo de tráfego, não atendidas pelos demais postos. São realizadas contagens nestes postos uma vez no ano durante 48 horas consecutivas em dois dias úteis da semana, sendo que não é necessário fazer esta contagem todos os anos.

As contagens volumétricas podem ser registradas pelos postos de contagem de forma global, na qual o volume é representado de forma total, somando o número de veículos que trafegam em ambos os sentidos, e de forma direcional, na qual o volume é representado por sentido da via. As contagens ainda podem ser agregadas de forma classificatória, na qual os volumes registrados são segmentados nas respectivas classes de veículos (BRASIL, 2006).

É comum que os registros das contagens dos postos, de acordo com Brasil (2006), sejam agregados em intervalos de 15 minutos, tendo em vista o cálculo do fator de hora de pico e sua aplicação para a determinação do nível de serviço das vias. Todavia, o desenvolvimento de estudos de tráfego mais específicos podem exigir a adoção de agregações temporais diferentes.

Almeida (2010) denota que após a coleta e armazenamento dos dados de campo, o programa de monitoramento de dados de tráfego deve proceder com a verificação da validade dos dados registrados, com o objetivo de filtrar e eliminar as inconsistências da base de dados.

FHWA (2016) apresenta que o controle de qualidade dos dados registrados implica em uma manipulação de dados, cujos procedimentos devem ser registrados e baseados em uma rigorosa análise estatística. Os dados não devem ser descartados ou substituídos simplesmente por apresentarem um comportamento atípico, ao invés disso, procedimentos sistemáticos que permitam a verificação e correção de dados inválidos, quando necessário, devem ser adotados.

Conforme apresenta Turner (2001), as técnicas de controle de qualidade para dados de tráfego armazenados devem abranger a identificação e o tratamento das seguintes situações:

- a) dados suspeitos ou incorretos, são aqueles que não apresentam resultados dentro de uma meta, regra ou faixa de valores esperada;
- b) dados imprecisos, são aqueles que estão sistematicamente imprecisos, mas dentro de uma faixa de valores esperados, devido à algum possível erro de medição, como por exemplo um equipamento descalibrado;
- c) dados perdidos, são aqueles que foram perdidos por problemas no equipamento de contagem ou por processamento incorreto de dados.

Turner (2001) ainda denota que é importante acompanhar os dados que não passem, ou são alterados, no processo de controle de qualidade para que a causa do problema seja investigada e corrigida.

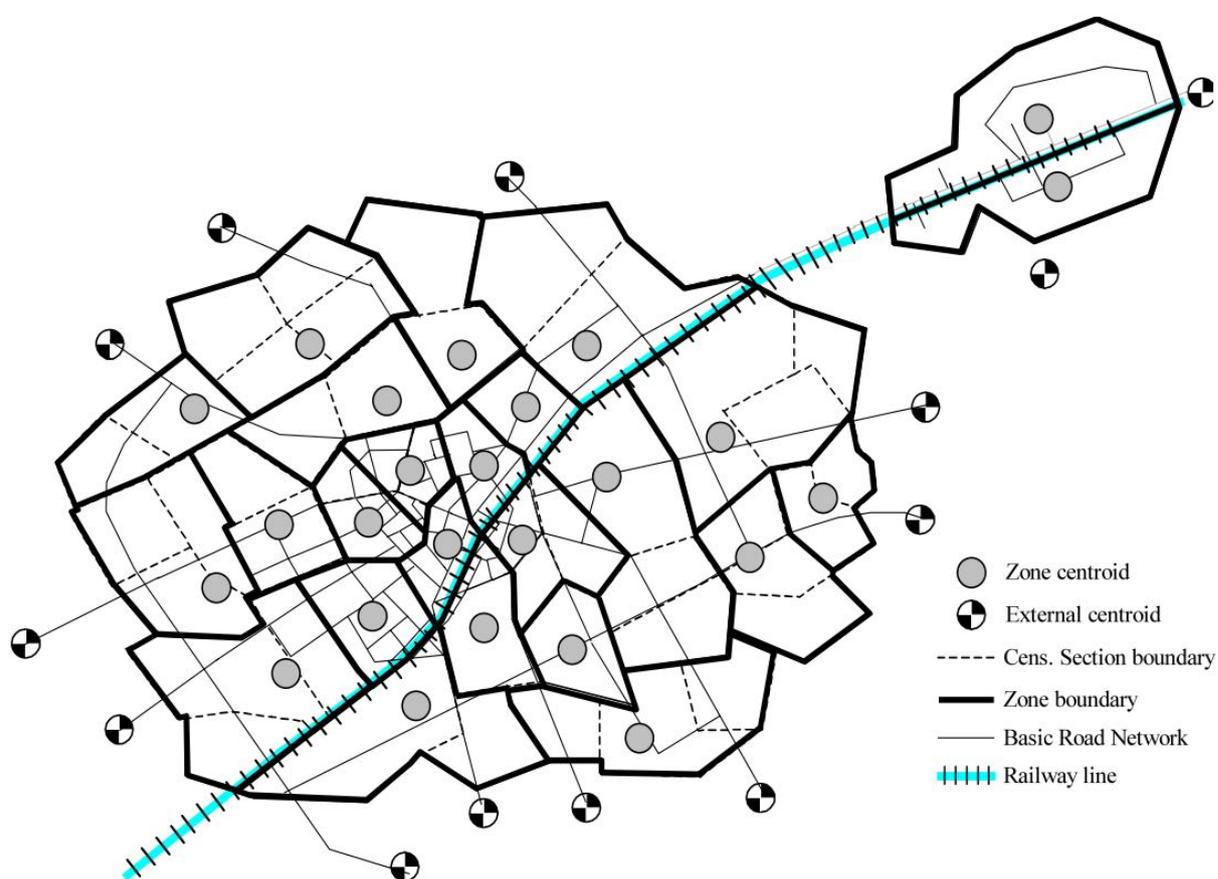
Na ocasião de um equipamento de um posto de contagem permanente apresentar alguma instabilidade operacional, ou ainda em casos de que devido às condições climáticas a rodovia precise ser interditada, *gaps* (ausência de dados) nos registros de contagem podem ocorrer, entretanto, de acordo com FHWA (2016) estes ainda podem ser considerados como de contagem permanente.

2.1.3 Matrizes de origem-destino

Uma matriz, no contexto do planejamento de transportes, é uma estrutura utilizada para armazenar dados sobre as interações entre duas ou mais localidades (HENSHER et al., 2008). Ortúzar e Willumsen (2011) colocam que os padrões de deslocamento em uma área de estudo podem ser representados por meio de uma matriz bidimensional que registra o número de viagens entre determinadas origens (local de partida) e destinos (local de chegada). Esta é chamada de matriz de origem-destino, ou matriz de viagens, e consiste em um elemento fundamental para o planejamento de transportes.

Para a construção de uma matriz OD, Rodrigue, Comtois e Slack (2013) colocam que a área de estudo deve ser subdividida em unidades geográficas menores, chamadas de zonas, as quais são representadas na modelagem por meio de pontos, chamados de centroides. Todas as viagens que tenham uma determinada zona como origem ou destino devem iniciar ou terminar no respectivo centroide. A interação espacial entre as zonas, como uma analogia para um conjunto de movimentos, é representado por um par origem-destino. A demanda de viagens entre cada par OD de uma área de estudo é armazenada em uma célula na matriz, onde cada linha corresponde a uma origem e cada coluna corresponde a um destino. A Figura 2 apresenta a estrutura de zonas e centroides em uma área de estudo e a Figura 3 apresenta a construção de uma matriz de origem-destino.

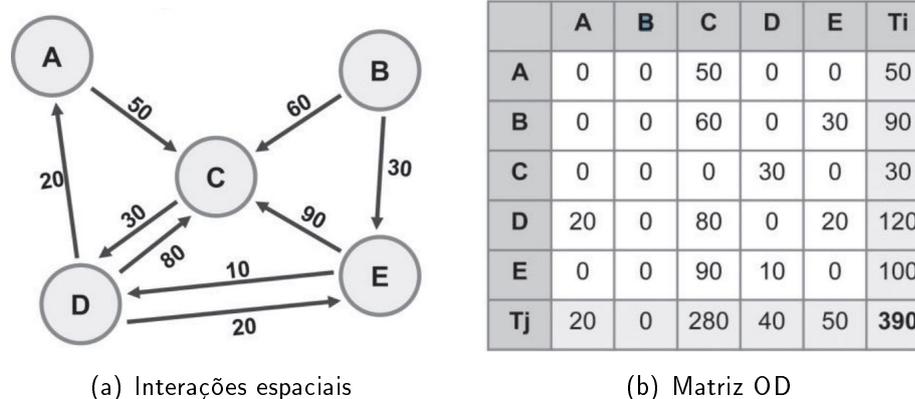
Figura 2: Estrutura de zonas e centroides em uma área de estudo



Fonte: Cascetta (2009).

É fundamental que os dados da matriz OD sejam definidos quanto ao espaço-tempo que eles representam, especificando a abrangência da área de estudo e o cenário temporal dos dados. Segundo Hamerslag e Immers (1988), se a matriz OD contém informações do cenário temporal presente, esta é chamada de "matriz OD do ano-base".

Figura 3: Construção de uma matriz de origem-destino



Fonte: Adaptado de Rodrigue, Comtois e Slack (2013).

De acordo com Bert (2009), o padrão de viagens presente em uma matriz OD varia de acordo com as características da malha viária, as quais podem ser divididas em dois contextos: urbano e regional¹³. A Tabela 3 apresenta as características de malhas viárias nos contextos urbano e regional.

Tabela 3: Características de malhas viárias nos contextos urbano e regional

| Característica | Urbana | Regional |
|-----------------------------------|----------|----------|
| Nº de semáforos | Alto | Baixo |
| Nº de intersecções | Alto | Baixo |
| Comprimento da malha viária | Médio | Alto |
| Modos de transporte | Diversos | 1-2 |
| Distância das viagens | Curtas | Longas |
| Possibilidade de escolha de rotas | Alta | Baixa |
| Velocidade média | Baixa | Alta |

Fonte: Adaptado de Bert (2009)

Bert (2009) denota que as diferenças entre os dois contextos surgem a partir da natureza distinta das viagens. No contexto urbano, as viagens são mais curtas e numerosas, cortadas por outros fluxos de diferentes rotas possíveis, e com uma alta densidade de origens e destinos (casas, estacionamentos, locais de trabalho, etc.). Já no contexto regional, as viagens possuem distâncias maiores com velocidades altas e constantes (existem poucas perturbações, exceto em caso de congestionamento),

¹³O autor se refere ao contexto regional como *freeway networks*, que em uma tradução livre significa "redes rodoviárias". Entretanto, este trabalho adota a nomenclatura apresentada por Campos (2013), que chama os contextos de análise de urbano e regional.

com poucas possibilidades de escolha de rota e com uma baixa densidade de origens e destinos (municípios).

Brasil (2006) apresenta que, para a identificação destas viagens na área de estudo, são desenvolvidas pesquisas de origem e destino, cujos principais métodos empregados são:

1. Entrevistas a domicílio (pesquisa domiciliar);
2. Identificação de placas;
3. Tarjetas postais;
4. Etiquetas nos veículos;
5. Entrevistas na via.

Brasil (2006) coloca que a escolha do método de uma pesquisa OD está diretamente relacionado às características da área de estudo, contexto urbano ou regional, de modo que cada contexto requer o uso de métodos de aquisição de dados são diferentes.

Assim, Brasil (2006) denota que o método de entrevistas na via é o mais adequado para pesquisas OD no contexto de estudos em nível regional. O método consiste na abordagem dos veículos na própria via da área de estudo (rodovias rurais), sendo feito um questionário para identificar a origem e destino, além da coleta de demais informações associadas à viagem.

Segundo Brasil (2006), o número de postos para entrevistas na via deve estar de acordo com a complexidade da rede rodoviária e com o grau de precisão desejado, devendo ser coletados dados dos principais fluxos da área de estudo. De acordo com, Ortúzar e Willumsen (2011) os postos devem se localizar em um ponto que facilite a abordagem aos motoristas, de modo que a coleta de informações não prejudique o fluxo de veículos e apresente resultados de qualidade.

Para que seja possível identificar o padrão de distribuição do tráfego da área em estudo, por meio do método de entrevistas na via, Brasil (2006) coloca que devem ser efetuadas pelo menos duas pesquisas, em períodos distintos do ano, a fim de detectar as principais movimentações de carga. É recomendado que a pesquisa seja efetuada em quatro trimestres, igualmente espaçados no tempo, cobrindo todos os dias da semana, de modo que sejam observadas as variações semanais e sazonais no tráfego.

De acordo com Brasil (2006), com o objetivo de representar o volume diário de viagens, as entrevistas na via devem ter período de pesquisa, em princípio, entre 6:00 e 22:00 horas, podendo ocorrer durante 24 horas nas principais rodovias.

Campos (2013) denota que, para possibilitar uma análise mais completa, a entrevista deve incluir, além das viagens, dados socioeconômicos sobre as pessoas, características das cargas transportadas e dados sobre a viagem (horário, frequência, motivo, entre outros).

Cascetta (1984) e Pérez (2014) colocam que, na prática, não é possível obter uma matriz OD verdadeira a partir das pesquisas OD, uma vez que esta não consegue identificar todas as viagens. Deste modo, as pesquisas OD resultam em uma matriz OD parcial contendo os padrões das viagens na área de estudo, devendo ser expandida para que represente todas as viagens da área de estudo.

Ortúzar e Willumsen (2011) destacam que as matrizes advindas de pesquisas OD normalmente contêm um grande número de erros que, caso não corrigidos, serão amplificados no processo de expansão. Deste modo, com o objetivo de corrigir os problemas relacionados à coleta de dados em pesquisas OD, os resultados, usualmente, são submetidos à três etapas de validação: A primeira consiste em fazer uma simples checagem de completude e coerência dos dados obtidos, a segunda é uma checagem computacional da validade dos intervalos dos resultados e por fim uma verificação geral de consistência dos dados.

Oliveira Neto et al. (2016) coloca que a estimativa de matrizes OD por meio de métodos diretos, como as pesquisas OD, é um processo oneroso e demorado. De acordo com Guerra, Barbosa e Oliveira (2013) e Bera e Rao (2011), os custos financeiros e administrativos envolvidos na realização de uma pesquisa OD, faz com que sua periodicidade seja baixa, geralmente entre 10 e 20 anos, e tenham uma amostra relativamente pequena das viagens, cerca de 5% do universo. Em situações de contingenciamento de recursos, a execução de pesquisas OD se torna impossível, e com o tempo, os dados coletados se tornam obsoletos, deixando de representar os padrões da área de estudo.

Assim, Guerra, Barbosa e Oliveira (2013) denotam que é fundamental o desenvolvimento métodos mais baratos para obtenção de matrizes OD, de modo a não depender apenas de levantamentos de campo e proporcionar economia de recursos. Bert (2009) apresenta que uma matriz OD pode ser corrigida a partir de contagens de tráfego obtidas na via. Hamerslag e Immers (1988) destaca que técnicas de estimação de matrizes também auxiliam a suprir as informações faltantes das matrizes OD advindas de pesquisas de campo. O procedimento para correção de matrizes OD, tendo como base contagens volumétricas, é chamado de ajuste de matriz OD, e é apresentado na Seção 2.6.

Neste contexto também, a busca por métodos mais eficientes e menos onerosos para a estimativa de matrizes OD tem encontrado na tecnologia, por meio do uso de dados da telefonia móvel, uma alternativa às tradicionais pesquisas OD. O uso desses dados é justificado pelo fato de que um grande número de pessoas estão conectadas por um aparelho de telefonia móvel. Segundo a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)¹⁴ no mês de junho de 2021, para cada 100 habitantes brasileiros, havia 100,5 acessos em operação na telefonia móvel.

Assim, Chen et al. (2016) denota que o *big data* da telefonia móvel consiste na quantidade massiva de dados de movimentação da população no espaço e no tempo, obtidas de forma passiva e anônima, e que são capazes de inferir a respeito do movimento de multidões dentro de um país. As empresas de telecomunicações têm investido em plataformas para o armazenamento de *big data*,

¹⁴Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/telefonia-movel>>, acesso em 20/08/2021.

de modo que, segundo Pons, Monteiro e Speicys (2015), estes dados podem ser incorporados no processo de planejamento dos transportes para analisar deslocamentos e desejos de viagem.

No Brasil, já existem projetos visando estimar matrizes OD com o uso de *big data*. De acordo com informações do endereço eletrônico do Ministério da Infraestrutura¹⁵, a Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), em parceria com a UFSC, desenvolveu uma matriz OD de deslocamentos de pessoas pelo transporte aéreo e não aéreo (terrestre, aquaviário e outros) no país com base nos dados de telefonia móvel por meio de *big data*. Este trabalho apresentou como resultados a identificação de potenciais rotas para o transporte aéreo, permitindo o desenvolvimento de um planejamento integrado dos modos de transporte, uma alocação mais eficiente de recursos e a elaboração e implementação de políticas públicas mais assertivas para o setor.

2.1.4 Plano Nacional de Contagem de Tráfego

No Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes desenvolve o Plano Nacional de Contagem de Tráfego e faz o levantamento de dados de volume, de forma sistemática, com o objetivo de identificar o comportamento do tráfego nas rodovias federais.

De acordo com o que é apresentado no endereço eletrônico do PNCT¹⁶, o programa teve início em 1975 com o "Programa de Contagem Sistemática de Trânsito", implantado nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Em 1976 o programa evoluiu para o "Plano Piloto de Contagem Sistemática de Trânsito" e, devido ao sucesso dos resultados obtidos com o plano piloto, surge em 1977 o PNCT, com 120 postos permanentes pela malha rodoviária federal. Com a expansão do programa durante as décadas de 1980 e 1990, o PNCT chegou ao ano de 1998 com 285 postos permanentes.

Devido a contingenciamentos orçamentários, o PNCT foi interrompido no ano de 2001, sendo retomado novamente apenas no ano de 2013 com a execução de contagens de tráfego em pontos específicos da malha rodoviária federal. Em 2014, após estudo para identificação de 320 potenciais locais para a instalação de postos de coletas permanentes, a coleta sistemática de dados de volume classificado foi retomada.

Segundo o que consta no endereço eletrônico do PNCT, o Plano visa cobrir os trechos mais representativos da malha rodoviária de cada estado e é o programa de contagem de maior importância nacional, fornecendo subsídios básicos para os estudos de planejamento em geral, estudos econômicos e projetos rodoviários, essenciais ao estabelecimento de critérios para o cumprimento das seguintes finalidades:

- planejar o sistema rodoviário;

¹⁵Disponível em: <<http://dados.infraestrutura.gov.br/dataset/matriz-de-origem-destino-real-de-deslocamentos-de-pessoas-por-big-data-da-telefonia-movel>>, acesso em 11/09/2021.

¹⁶Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Inicio/institucional>>, acesso em 11/09/2021.

- programar necessidades e prioridades de melhorias no sistema rodoviário atual;
- medir a demanda atual de serviços por via rodoviária;
- estabelecer as tendências de tráfego no futuro;
- determinar os volumes de viagens de forma a proporcionar justificativa econômica aos investimentos programados;
- avaliar o fluxo existente de tráfego em relação ao sistema rodoviário atual;
- estimar os benefícios dos usuários nas rodovias;
- estabelecer uma classificação do sistema rodoviário;
- justificar e planejar o policiamento;
- estabelecer o veículo de projeto para fins de projeto geométrico;
- projetar pavimento, obras de arte, seção transversal e outros elementos de rodovia;
- estudos de localização de postos de pesagem, socorro médico emergencial e etc.;
- analisar a capacidade e estabelecer o Nível de Serviço;
- realizar análise estatística de acidentes;
- localizar e projetar instalações para a operação rodoviária.

O PNCT abrange dois programas de contagem de tráfego, o Programa de Contagem Contínua e as Coletas de Cobertura. O Programa de Contagem Contínua inclui postos permanentes e sazonais que registram dados sobre o volume classificado de veículos que passam em um respectivo ponto da rodovia, além dos dados de peso bruto total, peso por eixo, distância entre eixos e velocidade instantânea do veículo. Atualmente, são disponibilizados dados, de forma aberta, de 319 postos de contagem, entretanto, o PNCT prevê que, ao todo, sejam instalados 320 postos de contagem permanente. O programa de Coletas de Cobertura inclui postos de cobertura que registram os mesmos dados do Programa de Contagem Contínua, em segmentos não abrangidos por este e com contagens realizadas durante 7 dias consecutivos.

Além dos programas de contagem, visando a consolidação do PNCT, o DNIT realizou a Pesquisa Nacional de Tráfego, uma pesquisa OD com o objetivo de elaborar uma matriz OD para a malha rodoviária federal. Para a pesquisa, realizada em 4 fases, foram feitas entrevistas e contagens em 300 pontos específicos na malha rodoviária federal de modo a caracterizar o tráfego nas principais rotas rodoviárias do país e assim obter informações que contribuam para o planejamento da infraestrutura rodoviária federal.

O PNCT também apresenta como resultado uma estimativa do VMDa para a malha rodoviária federal pavimentada, a partir de uma metodologia desenvolvida pela Universidade Federal do Rio de

Janeiro (UFRJ/COPPE). O processo utiliza dados da matriz OD desenvolvida na PNT e de postos de contagem de tráfego do PNCT (Programa de Contagem Contínua, PNT, Coleta de Cobertura e postos de pedágio de concessões rodoviárias sob responsabilidade da ANTT, ARTESP e EGR).

2.2 Modelagem da malha viária

Esta seção apresenta sobre os diversos elementos utilizados para a modelagem dos dados da infraestrutura viária de uma área de estudo e conceitua sobre Sistema de Informações Geográficas (SIG), ferramenta digital utilizada para processar dados georreferenciados.

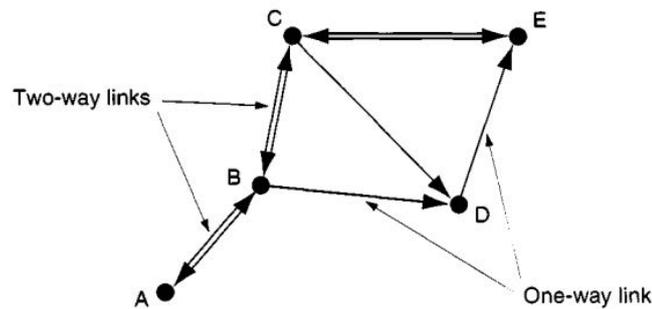
Hoje em dia, é difícil imaginar um modelo de transportes que não estruture seus dados de infraestrutura viária utilizando o conceito de redes (*network*). O termo rede se refere à estrutura de rotas dentro de um sistema de localizações identificados como "nós", onde uma rota é uma conexão entre dois nós. Estas conexões podem se referir à rotas tangíveis como rodovias e ferrovias ou menos tangíveis como corredores marítimos e aéreos (RODRIGUE; COMTOIS; SLACK, 2013).

Segundo Hensher et al. (2008) e Brasil (2006), um nó representa um ponto de decisão na rede, tipicamente identificando localizações onde viagens podem começar, terminar ou ramificar. Em malhas viárias, os nós de ramificação tipicamente representam intersecções, onde o usuário pode escolher entre uma ou mais rotas alternativas. Entretanto, em uma análise mais complexa, em redes multimodais, os nós de ramificação podem representar um ponto de transferência intermodal, onde o usuário pode escolher entre um modo de transporte ou outro.

Hensher et al. (2008) e Brasil (2006) também definem que um *link* representa um caminho permitido entre dois nós, tipicamente caracterizando ruas, rodovias, vias férreas, marítimas ou áreas. Este possui uma direção de viagem definida e pelo menos um parâmetro de custo ou impedância associado. Um *link* não tem uma forma definida, todavia é frequentemente representado como uma linha reta (vetor), podendo ser unidirecional (viagem permitida apenas no sentido representado) ou bidirecional (viagem permitida em ambos os sentidos). A Figura 4 ilustra a representação gráfica de links de nós em uma malha viária

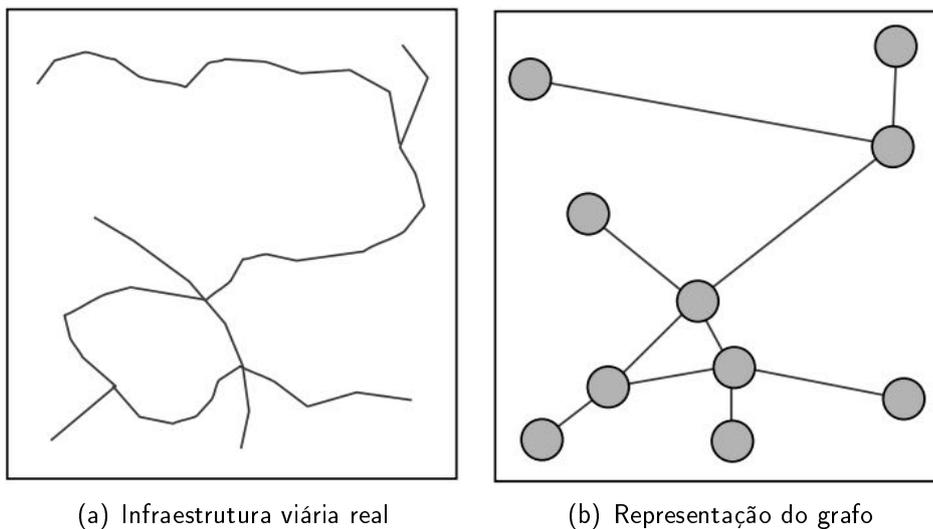
Para a representação da estrutura de uma rede viária e sua conectividade, Rodrigue, Comtois e Slack (2013) apresentam o conceito de "grafo", que corresponde em uma abstração da infraestrutura viária real representada de forma simplificada por meio de uma estrutura de *links* e nós. Para a conversão da infraestrutura viária real em um grafo, todos os pontos terminais e intersecções entre vias devem ser representados através de um nó, e todos os nós devem ser conectados entre si através de um *link*, representando as vias. A Figura 5 apresenta a representação do grafo de uma infraestrutura viária real.

Figura 4: *Links* e nós em uma malha viária



Fonte: Hensher et al. (2008)

Figura 5: Representação do grafo de uma infraestrutura viária real



(a) Infraestrutura viária real

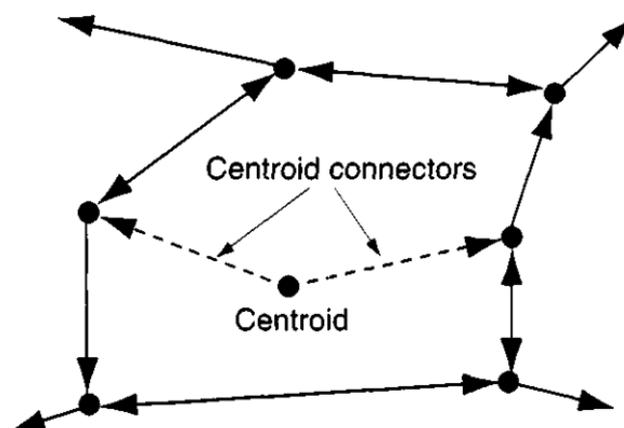
(b) Representação do grafo

Fonte: Adaptado de Rodrigue, Comtois e Slack (2013)

Segundo Hensher et al. (2008), os nós de um grafo representam pontos onde dois ou mais *links* se conectam. Na ausência de informações, é considerado que o movimento é permitido de qualquer *link* entrando para qualquer outro *link* conectado ao nó. No entanto, a realidade da infraestrutura viária apresenta limitações, ou até restrições, nas movimentações entre os *links*, como por exemplo uma conversão à esquerda pode ser proibida em determinada localidade, ou levar mais tempo do que seguir reto ou fazer uma conversão à direita, assim como algum movimento pode ser permitido apenas para algum tipo específico de modo de transporte, como por exemplo em vias exclusivas para ônibus. Estas restrições de movimentos nos nós (*turns*), caso existam, são aplicadas na hora da escolha da rota a ser utilizada na alocação do tráfego.

De acordo com Hensher et al. (2008), os conectores são *links* artificiais que conectam cada centroide a um ou mais nós no grafo, dos quais todas as viagens do respectivo centroide devem entrar ou sair. Os conectores representam uma composição das vias locais não modeladas na respectiva zona, de modo que a impedância associada ao conector geralmente corresponde ao tempo médio de viagem nestas vias para alcançar o ponto conectado. Os conectores também podem incluir restrições específicas nos movimentos dos nós conectados, de forma a proibir o tráfego alocado de encontrar um caminho mais fácil por dentro da zona de tráfego, com a finalidade de alcançar outro *link* da malha. A Figura 6 apresenta a estrutura de conectores em uma malha viária.

Figura 6: Conectores em uma malha viária



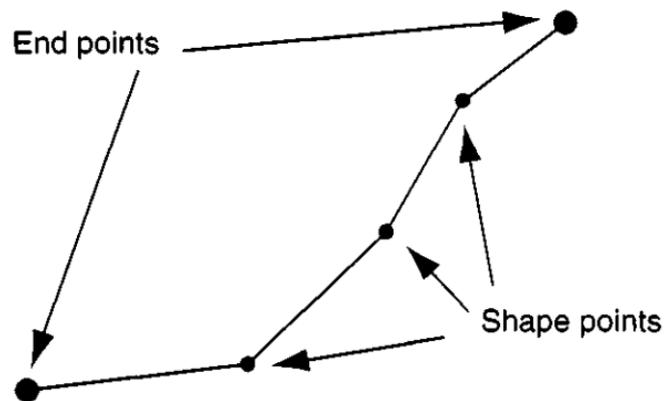
Fonte: Hensher et al. (2008)

Hensher et al. (2008) apresenta que os segmentos de uma estrutura de grafo são chamados de poligonais geográficas, que são múltiplos *links* conectados através de nós, como mostra a Figura 7. É comum a elaboração de uma estrutura de grafo a partir do uso de poligonais geográficas advindas de diferentes fontes de dados, de modo que sua união pode acarretar em problemas de conectividade entre as poligonais. A interação e conectividade entre todos os elementos que constituem uma malha viária é conhecida como sua topologia.

2.2.1 Sistema de Informações Geográficas

De acordo com Neteler e Mitasova (2008), um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é frequentemente descrito como uma integração de dados, equipamentos e programas computacionais projetados para armazenar, processar, analisar e exibir dados georreferenciados, os quais fornecem uma representação digital simplificada de recursos do planeta Terra, em uma determinada região.

Figura 7: Poligonal geográfica em uma malha viária



Fonte: Hensher et al. (2008)

No contexto da engenharia de transportes, Rodrigue, Comtois e Slack (2013) denotam que a tecnologia do SIG permite a criação de uma representação digital da malha viária, a qual pode ser utilizada para diversas finalidades, dentre as quais são destacadas:

- planejamento e operação da infraestrutura de transportes;
- análise de segurança viária;
- análise de demanda de viagens;
- monitoramento e controle de tráfego;
- planejamento e operação de transportes urbanos;
- análise de impacto ambiental;
- Sistemas Inteligentes de Transportes (*Intelligent Transportation Systems*, da sigla inglesa ITS);
- gerenciamento de frotas;
- rastreamento e despacho de veículos.

2.3 Expansão volumétrica

A expansão volumétrica tem como objetivo o ajuste de volumes observados em postos de contagem de curta duração (GARBER; HOEL, 2009). FHWA (2016) coloca que nos postos onde há contagem permanente são calculados fatores utilizados para processar os dados coletados em postos de contagem sazonal.

Garber e Hoel (2009) apresentam os seguintes conceitos de fatores de expansão, de acordo com as respectivas variações nos volumes de tráfego:

1. Fator de expansão horária, baseado nas variações dos volumes de tráfego ao longo das horas do dia;
2. Fator de expansão diária, baseado nas variações dos volumes de tráfego ao longo dos dias da semana;
3. Fator de expansão mensal (sazonal), baseado nas variações dos volumes de tráfego ao longo dos meses do ano.

Todavia, a definição dos conceitos de fatores de expansão não é algo homogêneo na literatura, de modo que Brasil (2006) chama os fatores de expansão, chamados de horária e diária em Garber e Hoel (2009), de diária e semanal, respectivamente. Os conceitos de fatores de expansão são apresentados por Brasil (2006) da seguinte forma:

1. Fator de expansão diária, baseado nas variações dos volumes de tráfego ao longo das horas do dia;
2. Fator de expansão semanal, baseado nas variações dos volumes de tráfego ao longo dos dias da semana;
3. Fator de expansão sazonal, baseado nas variações dos volumes de tráfego ao longo dos meses do ano.

Deste modo, os fatores de expansão são abordados nesta seção de acordo a nomenclatura conceituada em Brasil (2006), considerando que esta é a referência nacional para estudos relacionados à engenharia de tráfego.

O tráfego varia ao longo do dia, na maioria das localidades, com volumes maiores durante o dia e menores durante a noite (FHWA, 2016). O fator de expansão diária tem como objetivo expandir os resultados de contagens volumétricas realizadas em um período menor do que 24 horas para obter o volume médio diário, considerando as 24 horas do dia, e pode ser calculado por meio da Equação 1.

$$f_d = \frac{VMDd}{VH_h} \quad (1)$$

Onde:

f_d = fator de expansão diária;

VMDd = volume de veículos durante as 24h de um dia;

VH_h = volume de veículos durante as h horas de contagem.

A variação dos volumes de tráfego ao longo dos dias da semana em vias urbanas está relacionado à rotina dos dias úteis, fazendo com que os maiores volumes se concentrem entre segunda e sexta-feira. Já em rodovias rurais, e vias de acesso à áreas de recreio, os maiores volumes são registrados nos fins de semana, de sexta-feira a domingo (BRASIL, 2006). O fator de expansão semanal tem como objetivo expandir os resultados de contagens volumétricas realizadas em dias específicos da semana para obter o volume médio semanal (VMS), considerando os 7 dias da semana, e pode ser calculado por meio da Equação 2.

$$f_s = \frac{VMS}{VMDd} \quad (2)$$

Onde:

f_s = fator de expansão semanal de um dia específico da semana;

VMS = volume de veículos durante os 7 dias da semana;

VMDd = volume médio diário, do respectivo dia da semana.

Para a determinação do VMDs, o valor resultante do VMS é dividido por 7. Brasil (2006) denota ainda que os padrões de tráfego entre as semanas do mês não possuem variação, de modo que o VMDs corresponde ao VMDm de um respectivo mês.

Os volumes de tráfego monitorados ao longo do ano apresentam variação em função do tipo de via e das atividades a que ela serve. As rodovias rurais apresentam volumes superiores em períodos de férias escolares, quando comparados com volumes nos demais meses do ano, já as vias urbanas, servindo principalmente ao deslocamento para o trabalho diário, apresentam volumes mais constantes (BRASIL, 2006). O fator de expansão sazonal tem como objetivo expandir o volume médio diário de um respectivo mês do ano para obter o volume médio diário anual, e pode ser calculado por meio da Equação 3.

$$f_m = \frac{VMDa}{VMDm} \quad (3)$$

Onde:

f_m = fator de expansão sazonal para um determinado mês;

VMDa = volume médio diário anual;

VMDm = volume médio diário mensal, do respectivo mês.

Brasil (2006) destaca que o processo de expansão dos dados de contagem sempre incorrerá em algum erro, de modo que o processo não resultará nos valores reais que seriam obtidos caso fossem observados em campo. Todavia, a economia de recursos com a execução de contagens de curta duração é justificada, pois a prática tem mostrado que este erro está dentro de limites aceitáveis

na maioria dos casos. De modo geral, a precisão da estimativa dependerá fundamentalmente do conhecimento sobre os padrões de variação dos volumes em determinada agregação temporal.

2.4 Métodos diretos de previsão de demanda

A previsão da demanda de tráfego, de acordo com Campos (2013) e ITE (2016), tem como objetivo estimar um horizonte futuro das solicitações sobre a infraestrutura viária, sendo desde alguns anos até algumas décadas.

Campos (2013) classifica os modelos diretos para a previsão da demanda em dois tipos:

- a) incondicional, no qual a estimativa é baseada na observação do comportamento da demanda tráfego a partir de uma série histórica de dados, não relacionando o comportamento a nenhuma outra variável;
- b) condicional, no qual a estimativa é baseada na identificação de fatores (variáveis) que influenciam o comportamento da demanda de tráfego, analisando a maneira com que estes interagem e afetam os sistemas de transporte. Dados de renda, população, produção, valor da tarifa são fatores que podem ser adotados para a estimativa condicional.

A seguir são apresentados dois métodos de previsão de demanda por estimativa incondicional, a projeção linear e a linha de tendência.

2.4.1 Projeção linear

De acordo com Campos (2013) e Brasil (2006), a projeção linear é um modelo de previsão de demanda, com base na estimativa incondicional, no qual os volumes de tráfego crescem segundo uma progressão aritmética, em que o primeiro termo é a demanda inicial (ano base) e a razão é o percentual de crescimento anual desta demanda pelo período de tempo desejado (ano "n"). O modelo é descrito pela Equação 4.

$$D_n = D_0 \cdot (1 + n \cdot a) \quad (4)$$

Onde:

D_n = demanda no ano "n";

D_0 = demanda no ano base;

a = taxa de crescimento anual;

n = número de anos decorridos após o ano base.

2.4.2 Linha de tendência

De acordo com Campos (2013), a linha de tendência é um modelo de previsão de demanda, com base na estimativa incondicional, no qual, a partir do conhecimento de uma série histórica, é identificada uma tendência de crescimento, positivo ou negativo, da demanda durante um período determinado. O modelo normalmente empregado é o linear, descrito pela Equação 5, e tem como base o método estatístico dos mínimos quadrados.

$$Y = a + b \cdot x \quad (5)$$

Onde:

Y = variável dependente (demanda);

x = variável independente (ano correspondente);

a = coeficiente linear;

b = coeficiente angular.

2.5 Alocação de tráfego

Esta seção conceitua sobre alocação de tráfego e apresenta seus métodos.

A alocação de tráfego, segundo Rodrigue, Comtois e Slack (2013), é definida como um processo pelo qual as viagens, descritas por modo, propósito, origem, destino e hora do dia, são alocadas entre os caminhos ou rotas em uma malha viária por meio de um modelo, levando em consideração o processo de escolha de rotas pelo usuário e comportamento do tráfego como um todo em uma malha viária.

O objetivo da alocação de tráfego, conforme Peterson (2007), é o cálculo dos volumes de tráfego nas vias da área de estudo. ITE (2016) denota que, no procedimento de alocação de tráfego, a demanda de viagens é carregada (alocada) na malha viária, de acordo com o respectivo modo de transporte, para que sejam obtidos os volumes de tráfego em todas as vias. Campos (2013) coloca que os resultados obtidos nesta etapa fornecem insumos para uma verificação do equilíbrio entre a oferta e a demanda de cada sistema de transporte, de modo que são analisadas as alternativas para a área de estudo.

Campos (2013) apresenta que a alocação de tráfego é a etapa final do chamado Modelo 4 Etapas, ou Modelo Sequencial, utilizado para a elaboração de planos de médio e longo prazo no planejamento de transportes, tendo como base as relações do transporte com as características socioeconômicas da região a ser estudada.

2.5.1 Métodos de alocação de tráfego

Os métodos de alocação de tráfego têm como objetivo avaliar a distribuição dos volumes de tráfego em uma malha viária, a partir da demanda entre origens e destinos, tendo como base os caminhos mínimos entre os pares OD. Estes caminhos são definidos considerando o ponto de vista do usuário, que tenta minimizar seu tempo de viagem tendo como base parâmetros associados às vias da malha (CAMPOS, 2013).

Para o cálculo de caminhos mínimos em uma malha viária, Hensher et al. (2008) apresenta que os algoritmos de roteamento de rede utilizam de dados de impedância das vias, sendo que esta representa a resistência da rede de transportes em receber o tráfego alocado e geralmente suas medidas incluem distância (comprimento da via), tempos de viagens ou algum custo composto generalizado. Como padrão a escolha de rotas pelo usuário durante a alocação de tráfego está baseada na redução dos tempos de viagem, ou em alguma relação entre tempos de viagem e custos.

De acordo com Ortúzar e Willumsen (2011), a matriz OD de demanda, a malha viária e os princípios de escolha de rota pelo usuário, sendo estes inerente ao método, são os dados de entrada necessários para os métodos de alocação de tráfego.

Cascetta (2009) apresenta que a alocação da demanda de tráfego em uma malha viária pode ocorrer sob duas condições:

- a) vias não congestionadas, na qual a escolha da rota pelo usuário é feita sem considerar a capacidade das vias em receber os volumes de tráfego. Os tempos de viagens não são dependentes do volume alocado e sempre é considerado uma condição de fluxo livre;
- b) vias congestionadas, na qual a escolha da rota pelo usuário está associada à capacidade das vias, de modo que, quanto maior o volume alocado em determinada via, maior será o tempo de viagem por ela. Dependendo do modelo de alocação, a escolha da rota pode ser uma função do custo de viagem.

Saw, Katti e Joshi (2015) apresentam também que os métodos de alocação de tráfego podem ser classificados em dois tipos:

- a) métodos estáticos, que consideram a demanda como fixa durante todo o cenário temporal de alocação;
- b) métodos dinâmicos, que consideram a demanda variando no cenário temporal durante o processo de alocação.

Entre os métodos estáticos de alocação, Saw, Katti e Joshi (2015) denotam que os principais utilizados são:

- Tudo ou Nada;
- Estocástico;
- Incremental;
- Capacidade restringida;
- Equilíbrio do usuário;
- Otimização do sistema.

Ortúzar e Willumsen (2011) apresentam que o método de alocação mais básico de alocação de tráfego é o "Tudo ou Nada". Este é baseado nas condições de vias não congestionadas e que, na hora da escolha de rota, todos os usuários estão sob efeito dos mesmos parâmetros, percebendo e interagindo com a via de mesmo modo. Campos (2013) denota que este método possibilita obter uma visão macroscópica da distribuição do tráfego, todavia não é eficiente para a análise econômica e operacional de alternativas de sistemas de transporte pois seus resultados não refletem a realidade.

De acordo com Campos (2013), os métodos de equilíbrio, de maneira geral, são aqueles nos quais o custo de viagem em cada via da malha pode depender tanto do próprio fluxo quanto do fluxo em outras vias da malha. Estes procuram definir um padrão de distribuição nos volumes alocados, de modo que retrate exatamente a competição entre os usuários, que procuram se distribuir visando alcançar um equilíbrio na malha. Para isto, o conjunto de fluxos deve satisfazer às seguintes condições:

1. se duas ou mais rotas entre dois pontos (origem e destino) são utilizadas, então o custo dos usuários deve ser o mesmo em quaisquer destas rotas;
2. não há uma alternativa de rota não utilizada cujo custo seja inferior ao custo das rotas utilizadas.

Ortúzar e Willumsen (2011) denotam que os métodos de alocação de tráfego que consideram a condição de vias congestionadas tentam, com diferentes graus de sucesso, se aproximar das condições de equilíbrio de acordo com dois princípios enunciados por Wardrop (1952). O Primeiro Princípio de Wardrop é declarado como:

"Em condições de equilíbrio, o tráfego se organiza em malhas viárias congestionadas de modo que nenhum usuário pode reduzir os custos do seu caminho alterando rotas."

O Segundo Princípio de Wardrop é declarado como:

"Em condições de equilíbrio, o tráfego se organiza em malhas viárias congestionadas de modo que todas as rotas usadas entre pares OD tenham custos iguais e mínimos enquanto as rotas não usadas têm custos maiores ou iguais."

Campos (2013) apresenta que o método de alocação de equilíbrio do usuário (*user equilibrium assignment*) é baseado no primeiro princípio de Wardrop. O método está implementado no *software* VISUM para a execução do procedimento de alocação de tráfego na malha viária. De acordo com o manual do usuário (PTV, 2021), este método busca reproduzir o comportamento de que os usuários mudam suas rotas em função dos volumes alocados na malha, até que uma situação de equilíbrio, de acordo com o Primeiro Princípio de Wardrop, seja alcançada. Todavia, este comportamento está baseado na hipótese não realística de que todos os usuários possuem conhecimentos plenos sobre os volumes alocados na malha no momento da escolha de sua rota.

2.6 Ajuste de matrizes OD

Esta seção apresenta os conceitos sobre o procedimento de ajuste, também chamado de estimação, de matrizes OD e sua aplicação em estudos de engenharia de tráfego. Também é apresentado sobre o método de ajuste de matriz OD dos mínimos quadrados generalizado.

Técnicas de estimação são utilizadas para modificar uma matriz OD visando aproximar os volumes resultantes da alocação de tráfego das contagens volumétricas na via (MCGEOCH; ROSE, 2003). Cascetta (2009) denota que a estimação de matrizes utilizando dados de contagens de tráfego tem sido foco de estudos teóricos e empíricos, dado ao custo e a complexidade associado aos métodos amostrais de pesquisa OD, bem como o fato de que os dados de contagem, frequentemente, são obtidos de forma mecanizada, reduzindo custos e esforços.

Willumsen (1981) coloca que o ponto central da estimação de uma matriz OD a partir de contagens de tráfego é a identificação dos pares OD cujas viagens usam determinada via da malha. Esta variável é definida como uma proporção p das viagens que saem de uma origem i para um destino j e que usam uma determinada via lm . Seu valor numérico varia entre 0 (nenhuma viagem passa pela via) e 1 (todas as viagens passam pela via) e é determinado de acordo com o método de alocação de tráfego. A Equação 6 apresenta a relação fundamental da estimação de viagens a partir de contagens de tráfego.

$$V_{lm} = \sum_{ij} p_{ij}^{lm} \cdot T_{ij} \quad (6)$$

Onde:

V_{lm} = volume de tráfego na via lm ;

p_{ij}^{lm} = proporção de viagens de i para j que passa pela via lm ;

T_{ij} = número de viagens de i para j .

Willumsen (1981), Bert (2009) e Pitombeira Neto (2015) apresentam que o número de pares OD com viagens desconhecidas é muito maior do que o número de contagens na malha viária, de

forma que a solução de um sistema linear baseado na Equação 6 apresenta múltiplas soluções (existe mais de uma matriz OD que, quando alocada, reproduz os volumes observados nas vias). Assim, a falta de dados de tráfego acarreta no problema de subespecificação, que é inerente ao procedimento de ajuste de matriz.

Neste contexto, Pitombeira Neto (2015), denota que a maioria dos modelos utiliza uma matriz OD prévia que represente os padrões de viagem e forneça informações adicionais aos fluxos OD, de modo a superar o problema da subespecificação. Esta pode ser uma matriz desatualizada, uma matriz amostral recente, ou ainda uma matriz modelada a partir de estudos de geração e distribuição de viagens.

De modo geral, esta matriz OD prévia pode ser aplicada como uma matriz alvo (resultado a ser alcançado) ou semente (dado de entrada). Quando usada como matriz alvo, os resultados do modelo devem estimar uma matriz OD consistente com os volumes observados e chegando na menor distância da matriz alvo. Por outro lado, quando usada como matriz semente, esta é adotada como uma solução inicial, de forma que a matriz resultante ao final do procedimento pode não carregar nenhuma semelhança com a matriz prévia (PITOMBEIRA NETO, 2015).

Bert (2009) denota que a matriz semente fornece uma base com informações para contornar o problema da subespecificação, como estrutura, volumes, evoluções, ou limites para a matriz resultante, de modo que os resultados dos volumes encontrados são comparados com os valores fornecidos para a validação do procedimento.

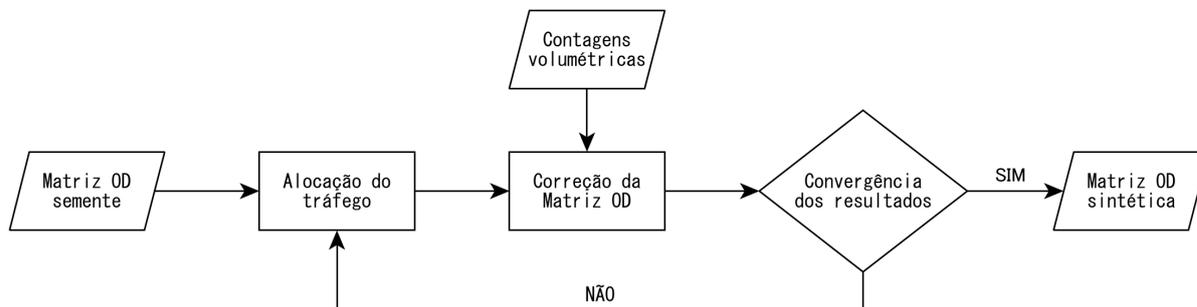
Segundo Bert (2009), o procedimento de ajuste matrizes OD é composto de duas etapas distintas:

- a) alocação do tráfego, que gera uma distribuição da demanda de tráfego na malha viária;
- b) correção da matriz OD, que modifica a matriz OD baseado nas contagens de tráfego.

Segundo Bert (2009), a partir de uma matriz OD semente, o procedimento de alocação do modelo representa a alocação da demanda de tráfego na malha viária da área de estudo. O resultado é a matriz OD alocada, que é utilizada pelo processo de correção de matriz para estimar uma nova matriz OD baseada nas contagens de tráfego. A matriz resultante é verificada quanto à convergência dos resultados. Caso a verificação não atenda a critérios estabelecidos, a matriz resultante atualiza a matriz semente e é alocada novamente na malha, constituindo um processo iterativo que leva em consideração as modificações na demanda a cada ajuste. Caso atenda aos critérios de convergência, o processo termina e o resultado final é chamado de matriz OD sintética, tendo em vista que não é estimada por observação direta das viagens, mas sim por um modelo que faz uma estimativa a partir de um outro conjunto de dados demanda de tráfego. A Figura 8 apresenta o processo de ajuste de matriz OD, segundo Bert (2009).

De acordo com Cascetta (2009) e Pitombeira Neto (2015), o ajuste de matrizes OD, é um procedimento que pode ser definido como o inverso da alocação de tráfego, apresentada na Seção

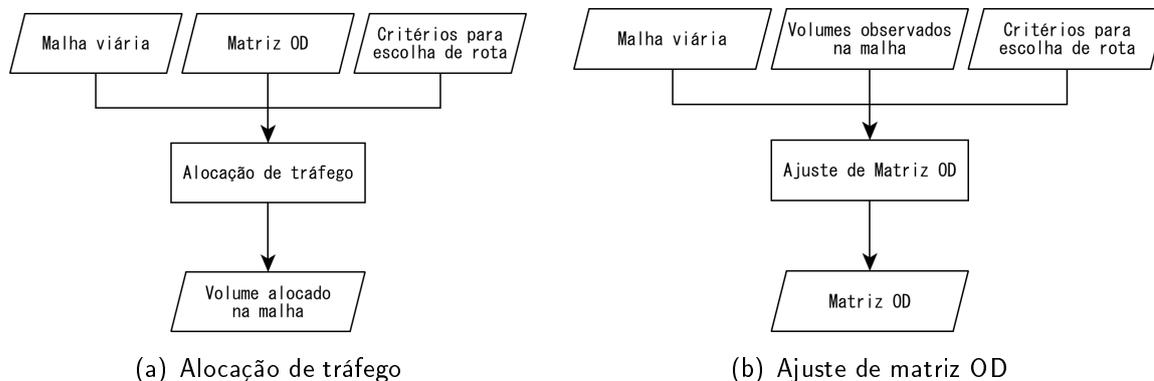
Figura 8: Processo de ajuste de matriz OD



Fonte: Adaptado de Bert (2009)

2.5. Dado um conjunto de volumes observados na malha viária, em um determinado período de referência, e tendo conhecimento sobre os padrões de viagem da área de estudo, o procedimento de ajuste determina a matriz OD correspondente que gera estes volumes. A Figura 9 apresenta a comparação entre os procedimentos de alocação de tráfego e ajuste de matriz OD.

Figura 9: Comparação entre os procedimentos de alocação de tráfego e ajuste de matriz OD



Fonte: Adaptado de Cascetta (2009)

Bera e Rao (2011) colocam que desde os anos de 1970 foram propostos diversos métodos de estimação de matrizes OD amplamente usados para atualizar e estimar matrizes utilizando dados de contagens de tráfego coletados em malhas viárias. Os métodos são capazes de fornecer diferentes graus de acurácia, de acordo com erros associados aos dados de entrada e à coleta dos volumes de tráfego.

Nuzzolo e Crisalli (2001), Bert (2009) e Pitombeira Neto (2015) apresentam que os métodos de ajuste de matriz OD a partir de contagens de tráfego podem ser classificados entre modelos estáticos, os quais são mais comuns e consideram que os parâmetros do sistema (matriz OD e

contagens volumétricas) não variam ao longo do tempo, e modelos dinâmicos, os quais consideram que os parâmetros do sistema variam ao longo do tempo.

Nuzzolo e Crisalli (2001) apresentam que os principais métodos estáticos, considerando a alocação de tráfego em condições não congestionadas, são:

- Princípio da maximização da entropia;
- Mínimos quadrados generalizado;
- Verossimilhança;
- Inferência Bayesiana.

Na seção seguinte é apresentado detalhes sobre o método de ajuste de matriz OD implementado no *software* VISUM.

2.6.1 Procedimento de ajuste de matriz OD no VISUM

O método implementado no *software* VISUM para a execução do procedimento de ajuste de matriz OD é o de mínimos quadrados¹⁷. Este busca minimizar a distância quadrada entre os volumes alocados e observados na via. O procedimento visa manter a estrutura da matriz original, enquanto, simultaneamente, busca minimizar a distância quadrada entre os volumes das matrizes inicial e corrigida (PTV, 2021).

O VISUM é um *software* comercial e não permite acesso ao código implementado. Todavia o manual do usuário (PTV, 2021) apresenta que a otimização não-linear do método de mínimos quadrados implementada é descrita pela Equação 7.

$$\min \tilde{Z}(f) = \frac{1}{2} \sum_r \omega_r^2 (\tilde{V}_r(f) - C_r)^2 + \frac{1}{2} \sum_{ij} a_{ij}^2 (f_{ij} - \hat{f}_{ij})^2 \quad (7)$$

Onde:

$\tilde{Z}(f)$ = vetor de demanda OD que minimiza a soma das distâncias;

$\hat{f}_{ij}^2 \geq 0$ = valores da matriz resultante;

$f_{ij} \geq 0$ = valores da matriz alocada;

$\tilde{V}_r(f)$ = volume de tráfego no *link* r , como uma função dos valores da matriz alocada;

ω_r = fator de ponderação para a diferença dos valores entre os volumes alocados e observados;

a_{ij} = fator de ponderação para a diferença dos valores entre as matrizes alocada e resultante;

C_r = volume observado no *link* r ; ij = par origem-destino da matriz.

¹⁷No manual do usuário do VISUM (PTV, 2021) consta apenas a informação de que o método é do tipo *least squares* (mínimos quadrados), sem especificar qual o tipo de método de mínimos quadrados é implementado.

Os fatores de ponderação da Equação 7 são definidos como um parâmetro para estabelecer o respectivo grau de importância dos volumes das contagens (ω_r) e da matriz inicial (a_{ij}) no procedimento de ajuste de matriz OD. A relação entre estes fatores de ponderação é apresentada pela Equação 8.

$$Rel = \frac{\sum_{ij} a_{ij}^2}{\sum_r \omega_r^2} \quad (8)$$

Onde:

Rel = relação entre os fatores de ponderação do método de mínimos quadrados implementado no VISUM;

ω_r = fator de ponderação para a diferença dos valores entre os volumes alocados e observados;

a_{ij} = fator de ponderação para a diferença dos valores entre as matrizes alocada e resultante.

O grau de importância dos fatores de ponderação no procedimento de ajuste de matriz OD pode ser definida de acordo com o resultado da relação entre eles:

- $0 \leq Rel < 1$, os volumes de contagem possuem maior importância para o modelo do que a matriz OD inicial, de modo que o ajuste visa manter os volumes alocados o mais próximo possível dos volumes observados, em detrimento da minimização dos valores entre as matrizes OD corrigida e original;
- $Rel > 1$, a matriz OD inicial possui maior importância para o modelo do que os volumes de contagem, de modo que o ajuste visa manter os resultados da matriz corrigida o mais próximo possível da matriz inicial, em detrimento da minimização dos valores entre os volumes alocados e observados;
- $Rel = 1$, a soma dos pesos de todos os pares OD é igual a soma dos pesos de todos os dados de contagem, de modo que ambos possuem mesma importância.

3 Área de estudo

Esta seção apresenta os dados utilizados neste trabalho, os quais são divididos entre dados de infraestrutura, compostos pela malha viária da área de estudo, e dados de demanda, compostos pelos dados de contagem de tráfego dos postos do PNCT e pela matriz OD desenvolvida pelas entrevistas da Pesquisa Nacional de Tráfego entre os anos de 2016 e 2017.

Em um contexto de planejamento regional, como visto na Seção 2.1.3, a abrangência temporal do modelo da área de estudo compreende o cenário de um dia, sendo adotados como volumes de tráfego os valores de VMDa.

3.1 Infraestrutura viária

A malha viária adotada para o estudo deste trabalho abrangeu as rodovias integrantes do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Federal de Viação (SFV), jurisdicionado ao Sistema Nacional de Viação (SNV). Criado pela Lei N°5.917, de 10 de setembro de 1973 (BRASIL, 1973) e previsto no art.21 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), o SNV é atualmente disposto pela Lei N°12.379, de 6 de janeiro de 2011 (BRASIL, 2011), a qual estabelece que este é constituído pela infraestrutura física e operacional dos vários modos de transporte de pessoas e bens, sob jurisdição dos diferentes entes da Federação. Além do SFV, a jurisdição do SNV abrange os sistemas de viação estaduais, distrital e municipais.

O Subsistema Rodoviário Federal é composto por todas as rodovias administradas pela União, seja diretamente, por meio do DNIT, ou indiretamente, por meio das concessões com a iniciativa privada, cuja exploração é regulamentada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), e por meio de convênios de delegações, cujas responsabilidades de administração da rodovia são transferidas ao Município, Estado ou Distrito Federal (BRASIL, 2007).

Para este trabalho foi avaliada a possibilidade de serem incluídas as rodovias estaduais como componentes da infraestrutura viária da área de estudo. Contudo, não há como obter de forma sistemática os dados de infraestrutura das malhas viárias estaduais, uma vez que os estados, caso mantenham estes registros, gerenciam os dados de forma independente, não sendo regra sua disponibilização. Além disso, com base nos conceitos de classe funcional de rodovias, apresentados na Seção 2.1.1, em estudos de escala regional é válido considerar as rodovias federais como sendo as vias arteriais do sistema, uma vez que as viagens interregionais, interestaduais e intraestaduais são majoritariamente feitas pelo sistema arterial. Deste modo, as rodovias estaduais não são incluídas na infraestrutura viária deste trabalho.

A base geométrica do SNV é disponibilizada em um arquivo no formato *shapefile* (SHP), contendo as poligonais que representam o eixo central das vias, no acervo virtual do histórico de versões

do SNV¹⁸. A versão mais antiga da base geométrica é do ano de 2013, cuja primeira revisão foi feita apenas em 2015.

As extensões da malha viária federal são apresentadas em uma planilha eletrônica, com arquivo no formato XLS, também disponibilizadas no acervo virtual do histórico de versões do SNV. A versão mais antiga disponibilizada é do ano de 1994, tendo sido feitas revisões anuais até 2015, quando passaram a ser coincidentes com a respectiva versão da base geométrica.

Atualmente, os arquivos do SNV são revisados de 3 a 5 vezes por ano. A versão adotada para este trabalho é a do mês de julho de 2020 (202007A), cuja malha viária é composta por aproximadamente 92 mil quilômetros de rodovias federais, destes, 64,4 mil estão pavimentados, 9,4 mil não se encontram pavimentados e 18,5 mil estão planejados, como apresenta a Tabela 4. A Figura 10 apresenta a distribuição espacial da malha viária na área de estudo.

Tabela 4: Extensões da malha rodoviária federal do SNV

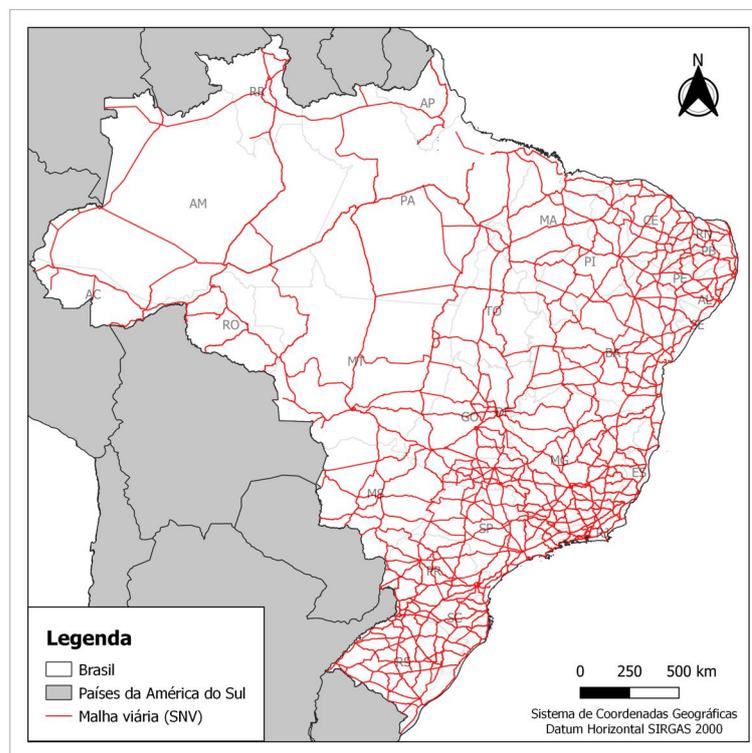
| Rede | | Jurisdição | | |
|---------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | Federal | Concedida | Delegada |
| Rede pavimentada (km) | Pista simples | 47.591,1 | 6.039,1 | 1.448,1 |
| | Em obras de duplicação | 823,6 | 0,0 | 0,0 |
| | Duplicada | 2.730,8 | 3.652,1 | 639,0 |
| | Total | 52.689,8 | 9.691,2 | 2.087,1 |
| Rede não pavimentada (km) | Leito natural | 2.229,2 | 0,0 | 0,0 |
| | Em obras de implantação | 8,3 | 0,0 | 0,0 |
| | Implantada | 5.589,0 | 0,0 | 8,1 |
| | Em obras de pavimentação | 1.578,4 | 0,0 | 0,0 |
| | Total | 9.404,9 | 0,0 | 8,1 |
| Rede planejada (km) | Planejada | 18.416,2 | 0,0 | 11,4 |
| | Travessia | 147,5 | 0,0 | 0,0 |
| | Total | 18.563,7 | 0,0 | 11,4 |
| TOTAL (km) | | 80.658,4 | 9.691,2 | 2.106,6 |
| | | 92.456,2 | | |

Fonte: Acervo virtual do histórico de versões do SNV, versão 202007A.

O DNIT não apresenta informações sobre as propriedades topológicas dos dados disponibilizados, de modo que, para o uso destes, visando a aplicação em uma estrutura de grafo, é necessário um tratamento para corrigir possíveis problemas de *links* sobrepostos sem conectividade no grafo.

¹⁸ Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAAdiNr?path=%2F>>, acesso em: 29/05/2021.

Figura 10: Rodovias federais do SNV



Fonte: Acervo virtual do histórico de versões do SNV, versão 202007A.

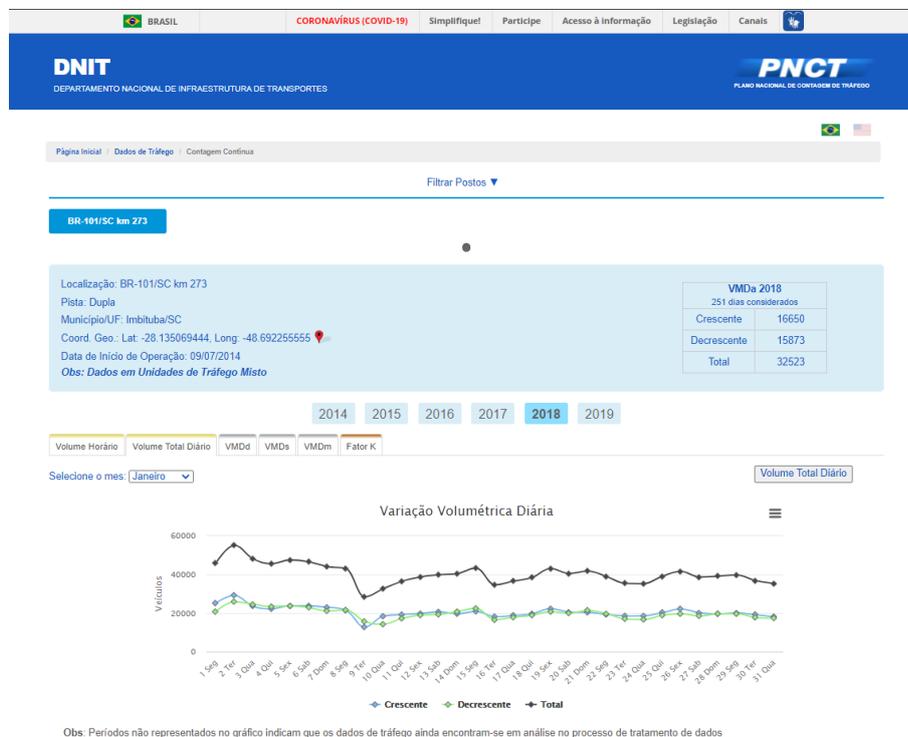
3.2 Contagens de tráfego

Os dados de contagens de tráfego utilizados neste trabalho foram obtidos por meio de postos permanentes e sazonais do programa de contagem contínua do PNCT, distribuídos de forma homogênea, abrangendo toda a área de estudo. Os dados são disponibilizados no endereço eletrônico do PNCT¹⁹, em uma planilha eletrônica por cada dia com registro de contagem. Os arquivos são baixados no formato XLSX e apresentam os dados de contagem agrupados em períodos de 15 minutos (quartis), para ambos os sentidos da via, crescente (C) e decrescente (D), e classificados em 11 diferentes classes de veículos, apresentadas na Tabela 5. A Figura 11 mostra capturas de tela do endereço eletrônico do PNCT apresentando os dados de um posto do programa de contagem contínua e a Figura 12 apresenta uma amostra de dados da planilha eletrônica obtida do PNCT para um posto de contagem.

Para este trabalho, foram obtidos dados de 312 postos de contagem contínua do PNCT, com registros entre os anos de 2014 e 2018. A coleta destes dados foi feita, de forma sistêmica, pelo

¹⁹Disponível em: <<https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>>, acesso em: 29/05/2021.

Figura 11: Capturas de tela do endereço eletrônico do PNCT apresentando os dados de um posto do programa de contagem contínua



(a) Tela principal com os dados de VMDa

Distribuição de Classes de Veículos por Quartil

Download Excel

Volume por Quartil de Hora - 1 / Janeiro / 2019 - BR-101/SC km 273

| Hora | Quartil (min) | Sentido | VHQ | Classe | | | | | | | | | | |
|------|---------------|---------|-----|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|---------------|
| | | | | (A) Ônibus/Cam de 2 eixos | (B) Ônibus/Cam de 3 eixos | (C) Caminhão de 4 eixos | (D) Caminhão de 5 eixos | (E) Caminhão de 6 eixos | (F) Caminhão de 7 eixos | (G) Caminhão de 8 eixos | (H) Caminhão de 9 eixos | (I) Passeio | (J) Moto | (L) Outros |
| 0 | 00-15 | C | 54 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 35 | 1 | 1 |
| | | D | 25 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 1 | 0 |
| | | Total | 79 | 2 | 5 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 58 | 2 | 1 | |
| | 15-30 | C | 38 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 2 | 1 |
| | | D | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 5 | 1 |
| | | Total | 90 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 | 7 | 2 | |
| | 30-45 | C | 42 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 2 | 0 |
| | | D | 75 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 69 | 4 | 0 |
| | | Total | 117 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 108 | 6 | 0 | |
| | | C | 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81 | 3 | 1 | |

(b) Tela para baixar o arquivo XLSX com dados registrados em um dia

Tabela 5: Classes de veículos dos dados de contagem do PNCT

| ID | Tipo de Veículo | Classe |
|-----|----------------------------|--------|
| C1 | Ônibus/Caminhão de 2 eixos | A |
| C2 | Ônibus/Caminhão de 3 eixos | B |
| C3 | Caminhão de 4 eixos | C |
| C4 | Caminhão de 5 eixos | D |
| C5 | Caminhão de 6 eixos | E |
| C6 | Caminhão de 7 eixos | F |
| C7 | Caminhão de 8 eixos | G |
| C8 | Caminhão de 9 eixos | H |
| C9 | Passeio | I |
| C10 | Moto | J |
| C11 | Outros | K |

Figura 12: Amostra de dados da planilha eletrônica obtida do PNCT para um posto de contagem

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|--|-------------|---------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|------------|
| 1 | Volume por Quartil de Hora - 1 / Janeiro / 2019 - BR-101/SC km 273 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | Classe | | | | | | | | | | |
| 3 | Hora | Quartil (m) | Sentido | VHQ | (A) Ônibus | (B) Ônibus | (C) Caminh | (D) Caminh | (E) Caminh | (F) Caminh | (G) Caminh | (H) Caminh | (I) Passe | (J) Moto | (L) Outros |
| 4 | | | C | 54 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 35 | 1 | 1 |
| 5 | | | D | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 23 | 1 | 0 |
| 6 | | 00-15 | Total | 79 | 2 | 5 | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 58 | 2 | 1 |
| 7 | | | C | 38 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 2 | 1 |
| 8 | | | D | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 5 | 1 |
| 9 | | 15-30 | Total | 90 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 | 7 | 2 |
| 10 | | | C | 42 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 2 | 0 |
| 11 | | | D | 75 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 69 | 4 | 0 |
| 12 | | 30-45 | Total | 117 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 108 | 6 | 0 |
| 13 | | | C | 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81 | 3 | 1 |
| 14 | | | D | 104 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 | 3 | 0 |
| 15 | 0 | 45-60 | Total | 189 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 182 | 6 | 1 |

Eng. Anderson Schmitt²⁰ com o auxílio do módulo Selenium para a linguagem de programação Python. Os *scripts* desenvolvidos são apresentados no Apêndice O e no Apêndice P.

Todos os registros de contagem para um posto foram organizados em arquivos de texto no formato *comma-separated values* (CSV), os quais foram gentilmente cedidos para a elaboração deste TCC. Cada dado registrado foi organizado contendo as informações sobre o posto (estado, rodovia e km), o sentido da via (C ou D), a data (no formato dd/mm/aaaa), a hora do dia (variando entre 0 e 23), o respectivo quartil da hora (1 para a contagem registrada na hora com final :00, 2 para :15, 3 para :30 e 4 para :45) e as contagens segmentadas pelos volumes de cada uma das 11 classes. Ao todo, entre os 312 postos utilizados neste trabalho, foram registrados 452.722.256

²⁰ Currículo Lattes disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/4159744270528873>>, acesso em: 11/09/2021.

dados de contagem. A Figura 13 apresenta um recorte de um arquivo CSV com dados de contagem registrados para um posto.

Figura 13: Amostra de dados do arquivo CSV para um posto de contagem

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|----|--------|---------|-----|---------|------------|------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 1 | estado | rodovia | km | sentido | data | hora | quartil | c1 | c2 | c3 | c4 | c5 | c6 | c7 | c8 | c9 | c10 | c11 |
| 2 | SC | BR-101 | 273 | C | 09/07/2014 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 11 | 1 | 0 |
| 3 | SC | BR-101 | 273 | D | 09/07/2014 | 0 | 1 | 4 | 7 | 2 | 4 | 7 | 1 | 0 | 0 | 17 | 2 | 0 |
| 4 | SC | BR-101 | 273 | C | 09/07/2014 | 0 | 2 | 3 | 5 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 2 |
| 5 | SC | BR-101 | 273 | D | 09/07/2014 | 0 | 2 | 2 | 8 | 0 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 22 | 0 | 1 |
| 6 | SC | BR-101 | 273 | C | 09/07/2014 | 0 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 15 | 2 | 1 |
| 7 | SC | BR-101 | 273 | D | 09/07/2014 | 0 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 12 | 1 | 0 | 0 | 13 | 1 | 0 |
| 8 | SC | BR-101 | 273 | C | 09/07/2014 | 0 | 4 | 2 | 7 | 3 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 |
| 9 | SC | BR-101 | 273 | D | 09/07/2014 | 0 | 4 | 4 | 8 | 3 | 4 | 2 | 1 | 0 | 2 | 12 | 0 | 1 |
| 10 | SC | BR-101 | 273 | C | 09/07/2014 | 1 | 1 | 4 | 10 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 |
| 11 | SC | BR-101 | 273 | D | 09/07/2014 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 1 |
| 12 | SC | BR-101 | 273 | C | 09/07/2014 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| 13 | SC | BR-101 | 273 | D | 09/07/2014 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 14 | 0 | 0 |

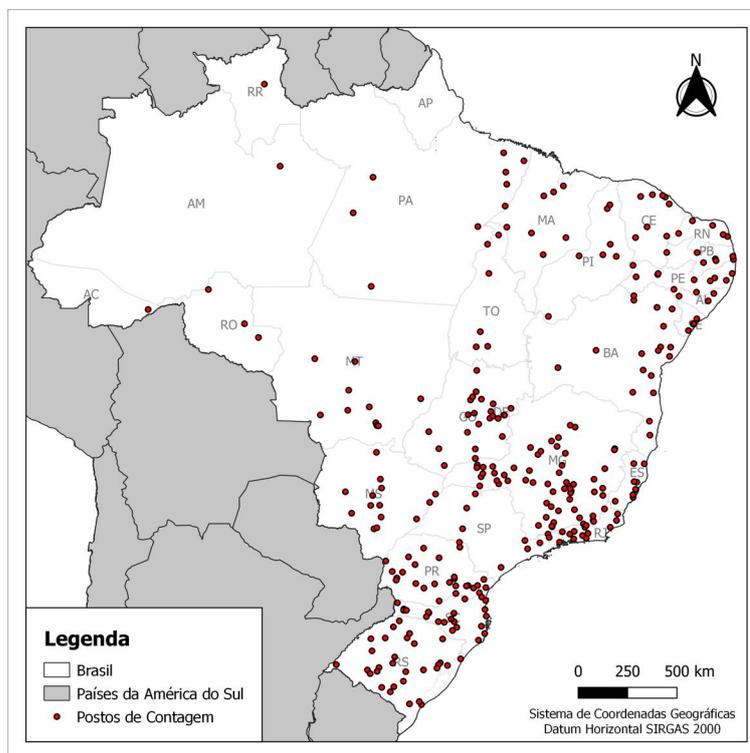
Para construção de um arquivo com dados georreferenciados dos postos de contagem é necessário obter informações sobre suas respectivas localizações. O endereço eletrônico do PNCT, como mostra a Figura 11a), apresenta as informações de latitude e longitude de cada posto, todavia tal informação não foi obtida de forma sistemática em conjunto com os registros das contagens. Assim, para criar o arquivo georreferenciado de localização dos postos foram utilizadas informações sobre a rodovia, UF, e o quilômetro, determinando as coordenadas a partir do arquivo SHP com as poligonais das vias do SNV, utilizando este como base para um Sistema de Referência Linear (SRL) e assumindo que as poligonais estavam orientadas de acordo com o sentido da quilometragem. Para isso foi desenvolvido pelo Prof. Alexandre Hering Coelho, orientador deste trabalho, o *script* apresentado no Apêndice N, que se baseou no uso de funções específicas de SRL do PostGIS.

A Figura 14 e o Apêndice A apresentam os postos de contagem que compõem a base de dados deste trabalho.

3.3 Matriz origem-destino

A matriz de viagens adotada nesse trabalho, representando a demanda de tráfego da área de estudo, foi desenvolvida no âmbito do PNCT, com base em uma pesquisa de origens e destinos dividida em 4 fases ao longo dos anos de 2016 e 2017. A pesquisa OD adotou o método de entrevista direta com os motoristas na rodovia, em um total de 300 postos de pesquisa distribuídos em todas as regiões do país (BRASIL, 2019). O período de pesquisa de cada fase da pesquisa OD teve duração de 7

Figura 14: Postos de contagem do PNCT



dias consecutivos. O número total de entrevistados e o cenário temporal de cada fase da pesquisa OD são apresentados na Tabela 6 .

Tabela 6: Cenário temporal da pesquisa OD

| Ano | Fase | Data de início | Data de fim | Total Entrevistados |
|------|------|----------------|-------------|---------------------|
| 2016 | 1ª | 02/07/2016 | 08/07/2016 | 212.329 |
| | 2ª | 19/11/2016 | 25/11/2016 | 296.937 |
| 2017 | 1ª | 01/07/2017 | 07/07/2017 | 526.607 |
| | 2ª | 18/11/2017 | 24/11/2017 | 348.457 |

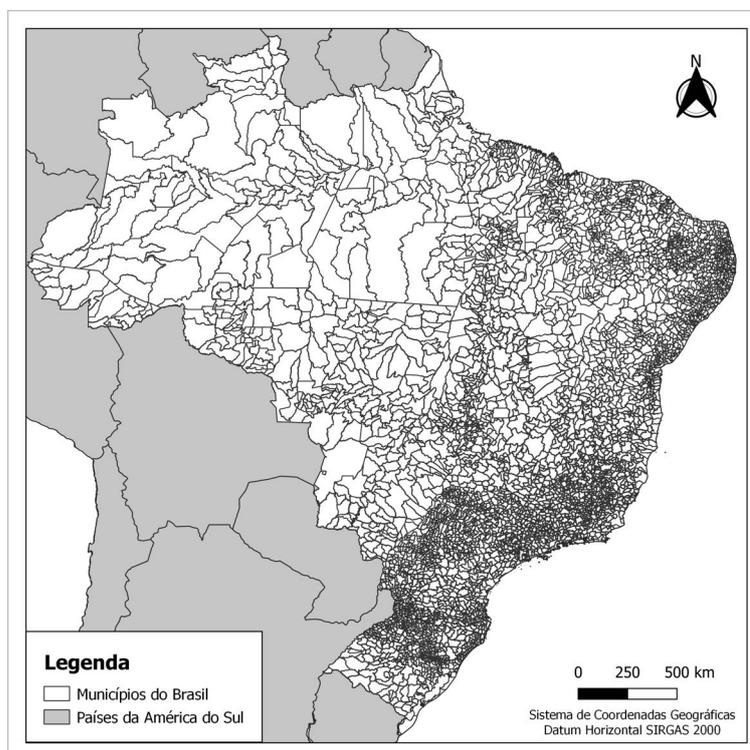
Fonte: Brasil (2019)

A pesquisa OD considerou como possibilidades de origens e destinos dos entrevistados 5564 cidades em território brasileiro e 12 países na América do Sul (Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela). Além das localidade de origem e destino dos entrevistados, a pesquisa OD identificou o tipo, a classe e o ano de fabricação do veículo utilizado, motivo de escolha e frequência de uso da rota, renda, informações sobre a carga transportada (apenas para caminhões), entre outros.

Como resultado, a pesquisa OD apresentou três matrizes OD resultantes das 4 fases de pesquisa, cada uma consolidada para a respectiva categoria de veículos - leves, pesados I (ônibus e caminhões até 4 eixos) e pesados II (caminhões com 5 eixos ou mais). A soma das viagens entre os pares OD das três matrizes compõem a matriz OD original deste trabalho. Os resultados referentes a pesquisa OD foram disponibilizados por meio do endereço eletrônico do PNCT²¹ e, de acordo com a Nota Técnica disponibilizada com os dados da pesquisa (BRASIL, 2019), estes são de natureza amostral e seu uso em estudos de tráfego deve ser acompanhado de análises específicas e de um tratamento estatístico para atingir os objetivos almejados.

Os dados de demanda da matriz OD vieram associados apenas a códigos correspondentes aos centroides, deste modo foi necessário obter uma camada de dados geográficos, a partir de uma fonte externa, que fosse representativa dos centroides da matriz OD. Assim, foi utilizada a camada de dados georreferenciados das divisões políticas dos 5570 municípios brasileiros para o ano de 2020, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em seu endereço eletrônico²², e apresentada na Figura 15.

Figura 15: Divisão municipal brasileira disponibilizada pelo IBGE



Fonte: Endereço eletrônico do IBGE.

²¹Disponível em: <<https://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/PesquisaOD/BaseDeDados>>, acesso em: 29/05/2021.

²²Disponível em: <<https://ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>, acesso em: 29/05/2021.

A associação entre os dados da matriz OD e a camada de dados geográficos dos centroides pode ser feita a partir do nome e unidade da federação (UF) dos municípios, deste modo o conteúdo associado à camada de dados do IBGE foi verificado e comparado com os dados fornecidos pela matriz OD, sendo constatado que alguns municípios eram referenciados por nomes diferentes nas duas bases de dados. Este problema ocorre porque os municípios divergentes apresentaram mudanças em seu nome no tempo entre as pesquisas de campo, que elaborou a matriz OD, e a publicação da base de dados do IBGE utilizada no trabalho.

Também foram identificados outros 6 municípios na base de dados do IBGE que não possuem nenhuma correspondência na matriz OD. Tal fato ocorre porque são municípios que foram emancipados próximo, ou após, ao período das pesquisas de campo que elaborou a matriz OD, além do município de Fernando de Noronha - PE, que é um arquipélago distante 545km da costa brasileira. A Tabela 7 apresenta os municípios que não estiveram presentes na matriz OD.

Além disso, foi constatado que os 12 países na América do Sul considerados na pesquisa OD não estão presentes na camada de dados obtida do IBGE, deste modo foi verificada a representatividade das viagens cuja origem ou destino seja um destes países. Foram contabilizadas 3.639 viagens, representando aproximadamente 0,27% do total de 1.361.590 viagens entre todos os centroides da matriz.

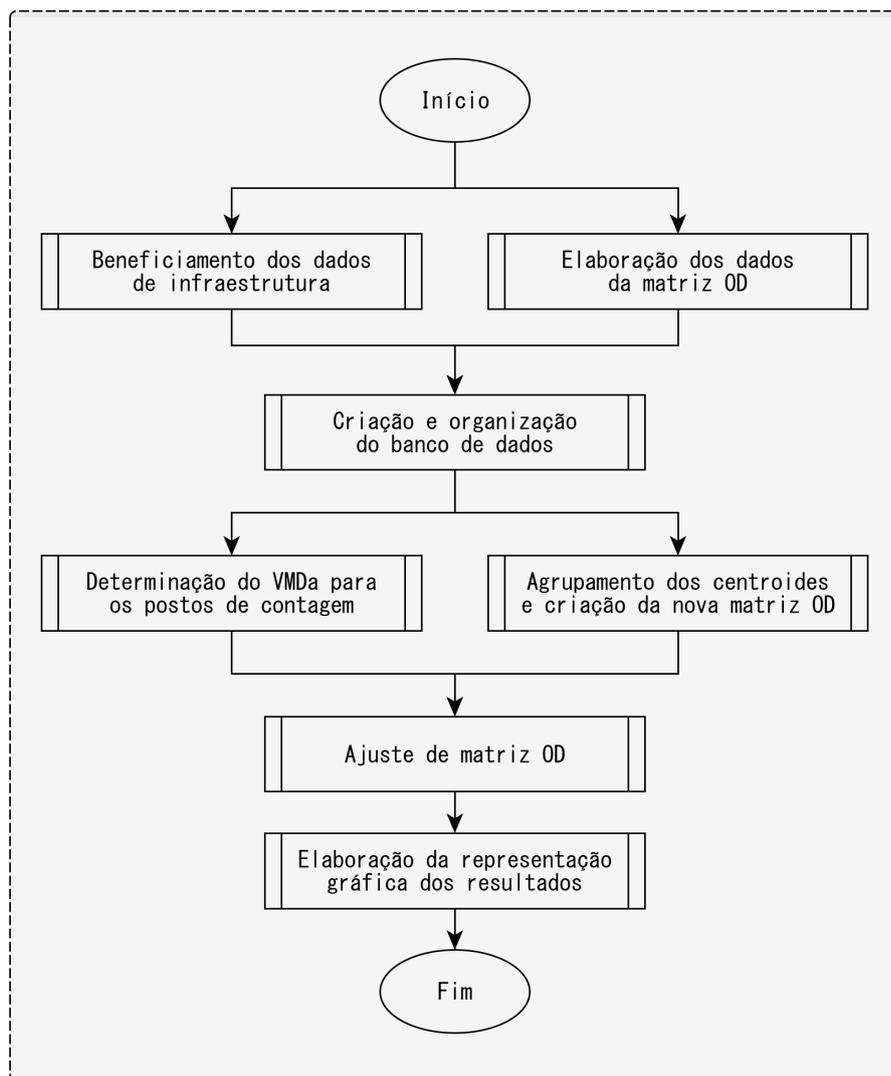
Tabela 7: Municípios ausentes na matriz OD

| ID | Município/UF |
|---------|------------------------|
| 1504752 | Mojuí dos Campos/PA |
| 2605459 | Fernando de Noronha/PE |
| 4212650 | Pescaria Brava/SC |
| 4220000 | Balneário Rincão/SC |
| 4314548 | Pinto Bandeira/RS |
| 5006275 | Paraíso das Águas/MS |

4 Método

A Figura 16 apresenta o fluxograma dos principais processos e dados do método empregado neste trabalho. O contexto do estudo aborda o comportamento macroscópico do tráfego, bem como considera que os fluxos na malha viária ocorrem de forma ininterrupta.

Figura 16: Método do trabalho



Este trabalho define como um conjunto de dados todos os registros de contagens de tráfego referentes a um posto de contagem, em um determinado ano e sentido. Como é apresentado na Seção 3.2, os registros em todos os postos de contagem são feitos de forma independente por sentido, deste modo, a cada ano com dados registrados são constituídos dois conjuntos de dados.

Além disso, com o objetivo de orientar os procedimentos descritos nesta seção, este trabalho adota as seguintes premissas:

- o último ano abrangido pelos dados de contagem é considerado como o ano de projeto deste trabalho;
- não há variação nos padrões de tráfego ao longo dos anos no período abrangido pelos dados de contagem (2014 a 2018);
- os volumes de tráfego são utilizados de forma total por sentido, sem distinção de classes, de modo que seus valores são expressos em Unidades de Tráfego Misto;
- a sequência de vértices de todas as poligonais do arquivo da base geográfica do SNV estão de acordo com o sentido real das vias;
- todos os dados de demanda utilizados neste trabalho estão certos, de modo que não são aplicados procedimentos para verificação, correção ou preenchimento de dados²³;
- os dados de demanda da matriz OD utilizada representam os padrões de viagem da área de estudo.

4.1 Materiais

Os recursos de *software* utilizados neste trabalho são:

1. PostgreSQL

O PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados do tipo objeto-relacional de código aberto que utiliza e complementa a linguagem *Structured Query Language* (SQL) para armazenar e dimensionar, de maneira segura, grandes volumes de dados²⁴.

2. PostGIS

O PostGIS é uma extensão de banco de dados espaciais do PostgreSQL, dando suporte ao armazenamento, consulta e processamento de objetos geográficos²⁵.

3. pandas

Pandas é uma biblioteca de *software* de código aberto criada para a linguagem de programação Python com o objetivo de analisar e processar dados de forma rápida, fácil e flexível²⁶.

4. QGIS

O Quantum GIS (QGIS) é um *software* de SIG de código aberto²⁷. Neste trabalho, o QGIS,

²³Acidentalmente, em uma observação dos dados, foi constatado que dois postos estariam localizados muito próximos entre si, despertando uma curiosidade. Deste modo, foi feita uma análise da situação e apresentada no Apêndice B.

²⁴Disponível em: <<https://www.postgresql.org/about>>, acesso em: 11/09/2021

²⁵Disponível em: <<https://postgis.net>>, acesso em: 11/09/2021

²⁶Disponível em: <<https://pandas.pydata.org>>, acesso em: 11/09/2021

²⁷Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site>, acesso em: 11/09/2021

na sua versão 3.16, é utilizado no processamento de dados geográficos da infraestrutura da malha viária, e no tratamento dos resultados obtidos após o ajuste de matrizes OD.

5. VISUM

O VISUM é um *software* de planejamento de transportes da empresa alemã PTV Group, apresentado na Seção 1.2. Neste trabalho, o VISUM, em sua versão trial 2021 (SP 1-10), é utilizado para executar os procedimentos de ajuste de matriz OD, apresentados na Seção 4.7.

A automatização de procedimentos sistemáticos neste trabalho é feita por meio de *scripts*, desenvolvidos na linguagem de programação Python e que fazem interface com o banco de dados no PostgreSQL.

Além disso, o equipamento (*hardware*) utilizado neste trabalho para rodar todos os *scripts* e recursos de *software* constituiu em um computador (notebook) cujas configurações são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Configurações do equipamento utilizado neste trabalho

| Configuração | Modelo |
|---------------------|--------------------------------------|
| Sistema Operacional | Windows 10 |
| Processador (CPU) | Intel Core i7-6500U 2.50GHz 2.60 GHz |
| Armazenamento | Disco Rígido de 1TB |
| Memória RAM | 8,00 GB padrão DDR3 |

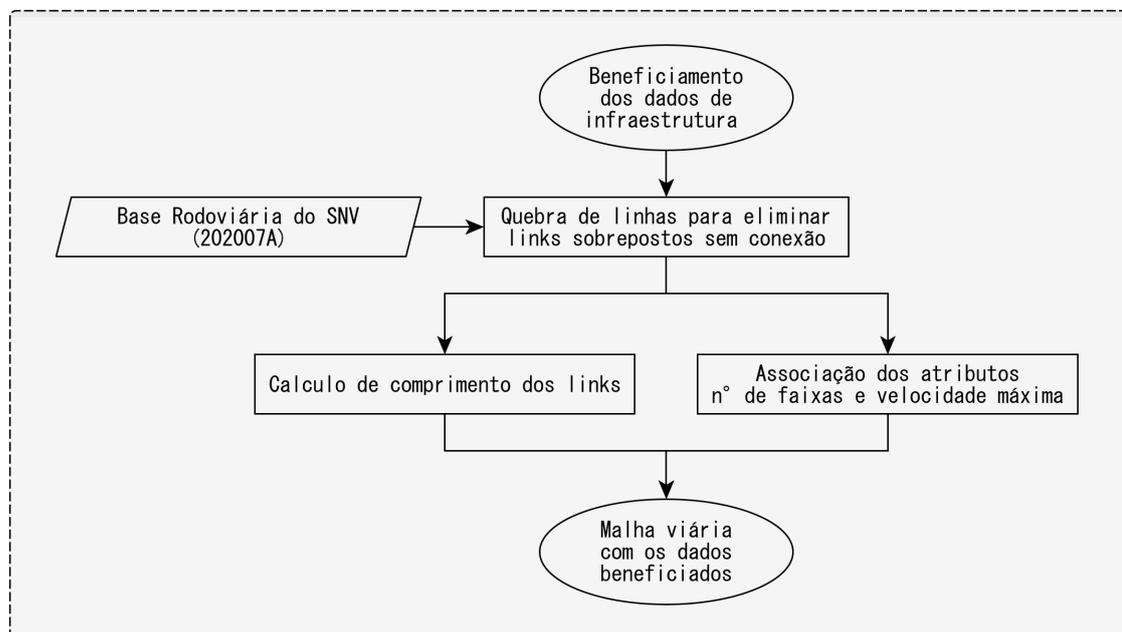
4.2 Beneficiamento dos dados de infraestrutura

O beneficiamento dos dados de infraestrutura tem como objetivo a correção de possíveis problemas de *links* sobrepostos sem conectividade no arquivo da malha viária do SNV, de modo a permitir o uso deste para compor a estrutura de grafo neste trabalho. Além disso, são associados à camada de dados os atributos de comprimento dos *links*, número de faixas e velocidade máxima das vias. A Figura 17 apresenta o fluxograma dos processos desta seção.

O procedimento para a correção de *links* sobrepostos sem conectividade é feito utilizando a função "Linhas com quebra" (*splitwithlines*) do QGIS, que faz a quebra de linhas (*links*) que se sobrepõem em um ponto sem intersecção, proporcionando conectividade a todos os caminhos que se cruzem.

O procedimento para o cálculo do comprimento de todos os *links*, dado que é necessário para a importação do modelo da malha viária para dentro do *software* VISUM é feito utilizando a função "Adicionar atributos de geometria" (*exportaddeometrycolumns*) do QGIS, que cria uma coluna na tabela de atributos do arquivo *shapefile* com o cálculo dos comprimentos da respectiva linha (*link*).

Figura 17: Processos para o beneficiamento dos dados de infraestrutura



Para a importação da malha viária no VISUM, é necessário que os *links* tenham algum atributo relacionado ao respectivo tempo de percurso. Como tal informação não é fornecida no arquivo SHP do SNV, é necessária a correlação a partir de outras informações fornecidas. Deste modo, este trabalho utiliza a informação do número de faixas da via para determinar o atributo de velocidade máxima permitida, sendo esta utilizada pelo VISUM para calcular o tempo de percurso no *link*. O número de faixas da via é determinado a partir de dados sobre o tipo de superfície da via e a existência, ou não, de obras. A Tabela 9 apresenta os tipos de superfícies da via e a correlação com o número de faixas e a velocidade máxima permitida, com base nas informações do Art. 61. do Código de Trânsito de Brasileiro (CTB) (BRASIL, 1997).

Após os procedimentos de beneficiamento dos dados de infraestrutura, o arquivo SHP com a camada geográfica da malha viária do SNV está pronto para ser inserido no banco de dados deste trabalho.

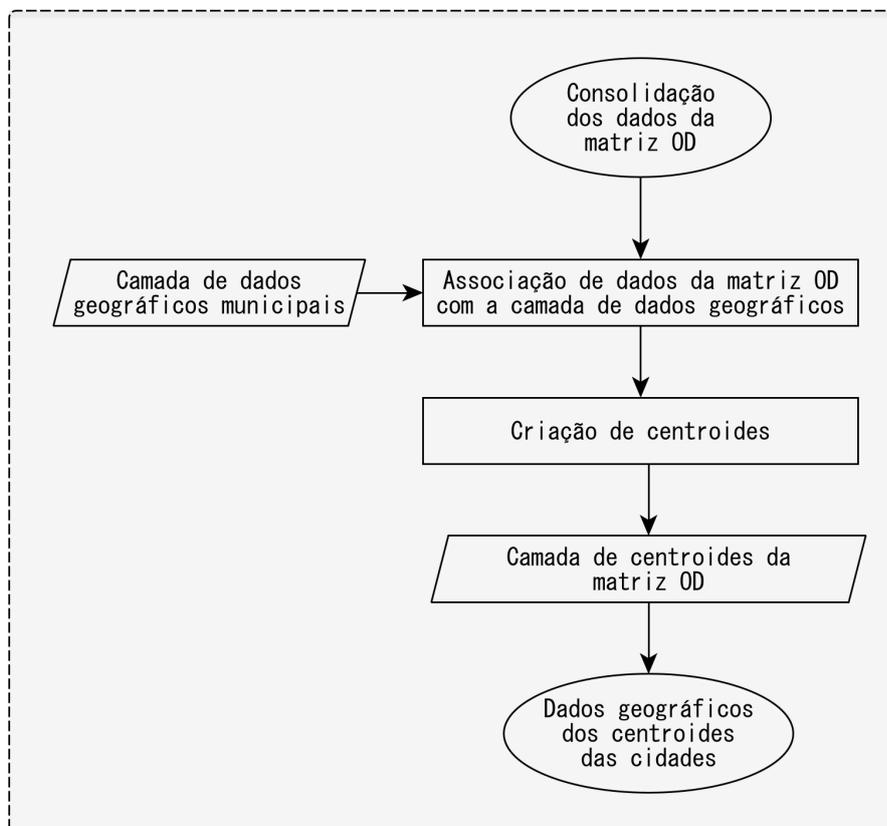
4.3 Elaboração dos dados da matriz OD

A elaboração dos dados da matriz OD tem como objetivo correlacionar os dados de demanda da matriz OD com a respectiva camada de dados georreferenciados dos municípios, de modo constituir a camada de centroides deste trabalho. A Figura 18 apresenta o fluxograma dos processos desta seção.

Tabela 9: Correlação dos atributos na importação do arquivo *shapefile* da malha viária

| Tipo de Superfície | Nº de faixas | Velocidade máxima permitida (km/h) |
|--------------------------|--------------|------------------------------------|
| Duplicada | 2 | 110 |
| Em obras de duplicação | 2 | 110 |
| Pavimentada | 1 | 100 |
| Em obras de pavimentação | 1 | 100 |
| Implantada | 1 | 100 |
| Em obras de implantação | 1 | 100 |
| Leito natural | 1 | 100 |
| Planejada | 1 | 100 |
| Travessia | 1 | 100 |

Figura 18: Processos para a consolidação dos dados da matriz OD



Para a associação da camada de centroides aos dados da matriz OD é correlacionado, em uma planilha eletrônica, o respectivo identificador (ID) da cidade pelo IBGE com o ID da cidade na matriz OD, de acordo com o nome e UF dos municípios. Aqueles que apresentaram nomes divergentes nas bases de dados são correlacionados manualmente.

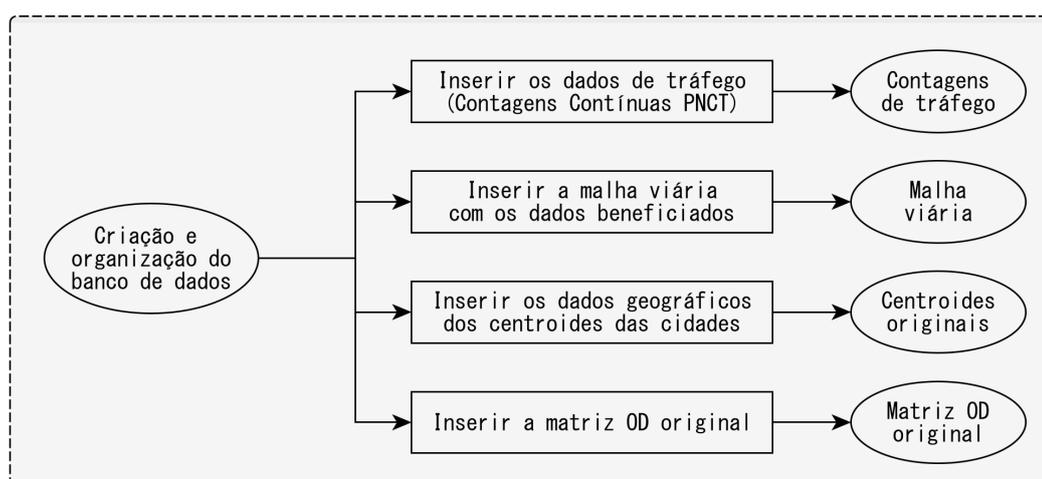
Os centroides dos países da América do Sul considerados para a elaboração da matriz OD não são modelados neste trabalho, tendo em vista que a dificuldade para modelar a conexão da malha viária do SNV com estes países poderia infringir em um erro maior do que apenas não considerar as viagens que tenham estes países como origem ou destino, as quais representam 0,27% do total de viagens da matriz OD.

Para a criação da camada de centroides, é aplicada a função "Centroides" (*native:centroids*) do QGIS na camada de dados georreferenciados dos municípios, criando uma camada de pontos calculados a partir dos centros geométricos dos polígonos que representam a área de cada município. Após os procedimentos de consolidação dos dados da matriz OD, o arquivo SHP com os centroides está pronto para ser inserido no banco de dados deste trabalho.

4.4 Criação e organização do banco de dados

Os procedimentos adotados nesta etapa são realizados com o objetivo de organizar os dados a serem utilizados neste trabalho, e preparar o banco de dados para o desenvolvimento do experimento, utilizando o PostgreSQL e sua extensão espacial PostGIS. A Figura 19 apresenta o fluxograma dos processos desta seção.

Figura 19: Processos para a criação e organização do banco de dados



Inicialmente, foram criados dois bancos de dados para este trabalho, um denominado "pnct" para armazenar todos os dados dos registros dos postos de contagem contínua do PNCT, e outro

denominado "programação" para receber e processar todos os demais dados do experimento. A separação do armazenamento em dois bancos de dados foi adotada visando não ocupar o banco de dados principal do trabalho com os dados não processados dos postos do PNCT, composto por 312 tabelas.

Com os bancos de dados criados, foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice D, que importa para o banco de dados os respectivos arquivos em formato SHP da malha viária, dos centroides da matriz OD e da localização dos postos de contagem do PNCT.

Para a importação dos dados das contagens de tráfego dos postos do PNCT, dos respectivos arquivos em formato CSV de cada posto, para dentro do banco de dados foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice E. O processamento faz a leitura dos arquivos CSV e registra uma tabela no banco de dados para cada posto com o nome no formato "estado_rodovia_km" armazenando os registros de contagem com as informações de sentido da via, o *timestamp* (registro temporal) no formato "ano-mes-dia hh:mm:ss" e os volumes de tráfego total e classificado.

A importação da matriz OD original para uma tabela dentro do banco de dados do PostgreSQL, considerando a criação de 3 campos "origem, destino e demanda", resultaria na criação de 31.024.900 registros para processar e armazenar as informações de todos os 5.570 pares OD da matriz. Deste modo, com o objetivo de melhorar a performance do processamento destes dados, foi utilizada a biblioteca de *software* pandas, que processa e armazena os dados de demanda da matriz OD mantendo o formato matricial, reduzindo o tempo necessário para o processamento de dados. O carregamento dos dados da matriz OD original é feito entre as linhas 60 e 80 do *script* apresentado no Apêndice L.

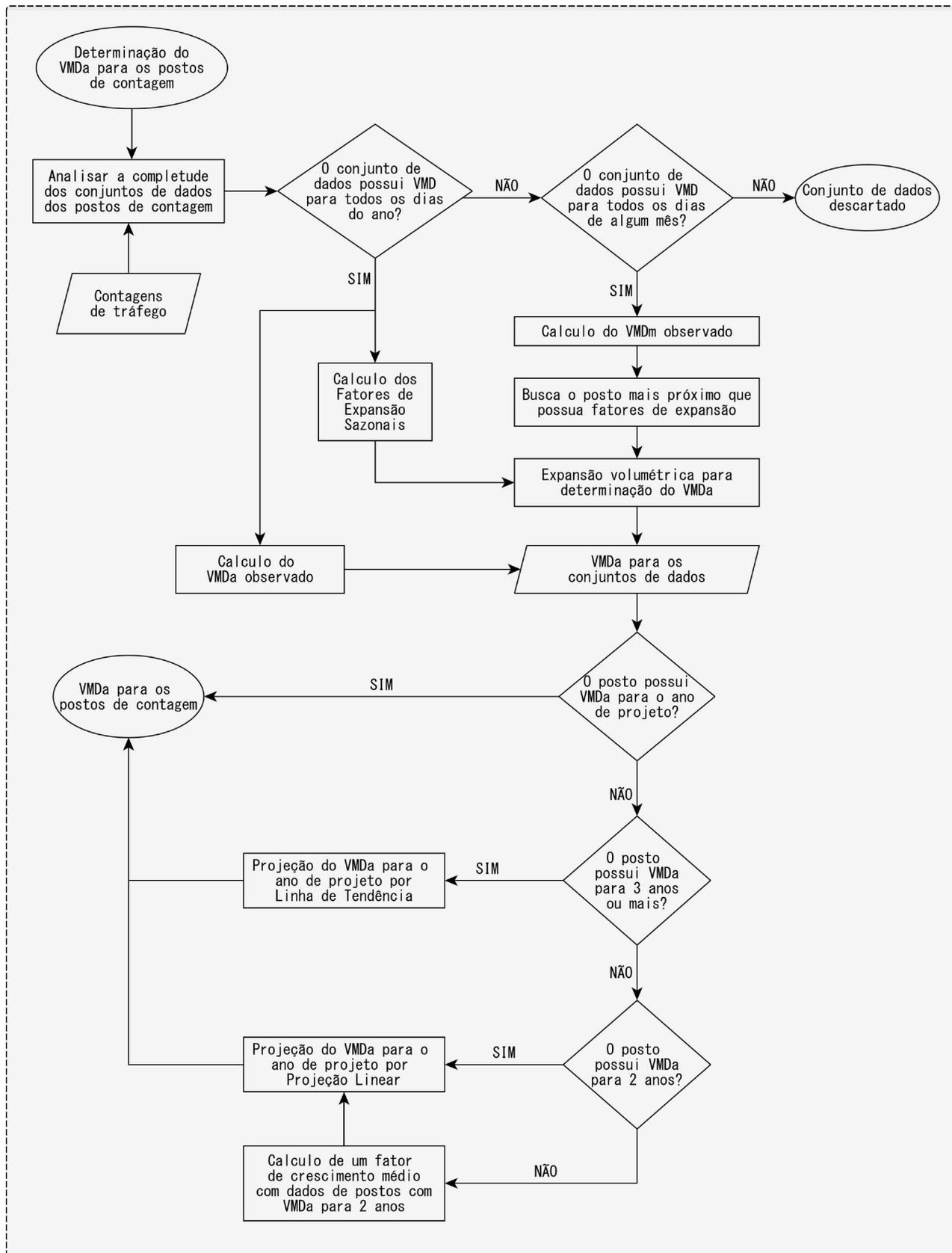
4.5 Determinação do VMDa para os postos de contagem

Os procedimentos apresentados nesta seção tem como objetivo a determinação da demanda de VMDa para o ano de projeto em todos os postos de contagem da área de estudo. A Figura 20 apresenta o fluxograma dos processos desta seção.

Os dados de contagem deste trabalho são originados de diferentes tipos de postos de contagem, permanentes ou sazonais, como apresenta a Seção 3.2. Além disso, como apresentado na Seção 2.1.2, os postos de contagem estão sujeitos a instabilidades, e podem apresentar falhas ocasionando *gaps* (ausência de dados) nos registros. Deste modo, a primeira etapa para a determinação do VMDa é a análise de completude dos conjuntos de dados, para verificar se o mesmo possui registros para todos os quartis de todos os 365 (ou 366, em anos bissextos) dias do ano.

Os conjuntos de dados que possuem os registros de contagem para um ano completo são considerados como conjuntos de dados de referência, e para eles são determinados diretamente o VMDa e os fatores de expansão sazonais, estes por meio da Equação 3 apresentada na Seção 2.3. Para os

Figura 20: Processos para a determinação do VMDa para os postos de contagem



conjuntos de dados que não possuem registros de contagem para um ano completo é analisado se há registros completos de contagem para algum mês do ano. Caso haja, o conjunto de dados é considerado como de curta duração, caso contrário o conjunto de dados é descartado do experimento. Para os conjuntos de dados de curta duração, são calculados os VMDm para todos os meses em que há dados completos. Visando a aplicação sistemática deste processo, foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice F, que verifica a completude dos dados de contagem dos postos do PNCT e calcula os valores VMDa, VMDm e os fatores de expansão.

A expansão sazonal dos conjuntos de dados de curta duração, visando a determinação do VMDa, utiliza os fatores de expansão de algum conjunto de dados de referência. Neste trabalho, um conjunto de dados de curta duração é associado com um conjunto de dados de referência pelo critério da menor distância euclidiana entre a localização dos seus respectivos postos, e o fator de expansão a ser utilizado corresponde a uma média dos fatores de expansão nos dois sentidos do conjunto de dados de referência. O uso de valores médios é feito visando minimizar erros que uma escolha arbitrária por sentido poderia acarretar. Além disso, estes fatores são médios diários, de tal modo que não trazem consigo informações sobre variações horárias, as quais seriam mais sensíveis ao sentido da via. Visando a aplicação sistemática deste processo, foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice G, que associa os conjuntos de dados de curta duração com os conjuntos de dados de referência e calcula os respectivos VMDa expandidos.

Um conjunto de dados válidos é aquele que possui um VMDa determinado, podendo ser observado, como ocorre nos conjuntos de dados de referência, ou expandido, como ocorre nos conjuntos de dados de curta duração. Para todos os postos de contagem é feita a análise da série histórica de conjuntos de dados válidos. Tal processo foi sistematizado por meio do *script* apresentado no Apêndice H.

Neste ponto do trabalho foram verificadas duas situações:

- Situação 1, no posto há VMDa observado em um ano anterior ao ano de projeto e que precisaria passar por um procedimento de projeção;
- Situação 2, no posto há VMDa expandido para o ano de projeto.

Em ambas as situações, o VMDa para o ano de projeto estaria sendo estimado. Na situação 1, a estimativa do VMDa está associada às incertezas da projeção de demanda, enquanto na situação 2 a estimativa do VMDa está associada às incertezas da expansão volumétrica. Para este trabalho não foram levantados dados sobre as incertezas apresentadas, não sendo possível determinar qual situação apresentaria o maior grau de confiabilidade. Sendo assim, é escolhido por priorizar os dados de VMDa já determinados para o ano de projeto (situação 2), com o objetivo de facilitar os procedimentos a serem executados.

Com a análise da série de conjuntos de dados válidos para os postos de contagem, aqueles que possuem VMDa para o ano de projeto tem este como o VMDa determinado para o posto, de acordo com o respectivo sentido da via. Para os demais postos é necessário a aplicação de métodos para projeção dos dados de demanda, apresentados na Seção 2.4. O número de anos com dados válidos na série histórica do posto define qual método de projeção é aplicado para a determinação do VMDa no ano de projeto:

- 3 anos ou mais: aplicação do método de linha de tendência;
- 2 anos: aplicação do método de projeção linear, cuja taxa de crescimento anual a é determinada pela variação do VMDa no posto nos anos com dados válidos;
- 1 ano: aplicação do método de projeção linear, cuja taxa de crescimento anual a é determinada pela variação média do VMDa entre todos os postos com conjuntos de dados válidos para 2 anos.

O procedimento de projeção dos dados de demanda foi sistematizado por meio do desenvolvimento do *script* 05, apresentado no Apêndice I, associando também o dado de VMDa determinado para o ano de projeto ao posto correspondente no arquivo *shapefile* dos postos de contagem.

4.6 Agrupamento de centroides e criação da nova matriz OD

Inicialmente, o trabalho visa utilizar todos os centroides da matriz OD adotada. Porém, devido a limitação de 3.000 centroides imposta pelo *software* adotado para executar o procedimento de ajuste de matriz OD neste trabalho, como apresentado na Seção 1.2, foi necessária a aplicação de um procedimento para adequar a camada de centroides, de modo que não houvessem perdas nos dados de demanda.

Assim, com o objetivo de conservar os volumes que entram e saem dos *links*, este trabalho aplica um procedimento para agrupar os centroides que se conectam ao mesmo *link*, pelo do cálculo da distância euclidiana entre o centroide e a malha viária, considerando que esta conexão ocorre no *link* de menor distância, aqui chamado de "*link* de conexão". Os centroides com o mesmo *link* de conexão são unificados sob um mesmo ponto, representado pelo ponto médio entre os centroides, gravado em uma nova camada de dados vetoriais.

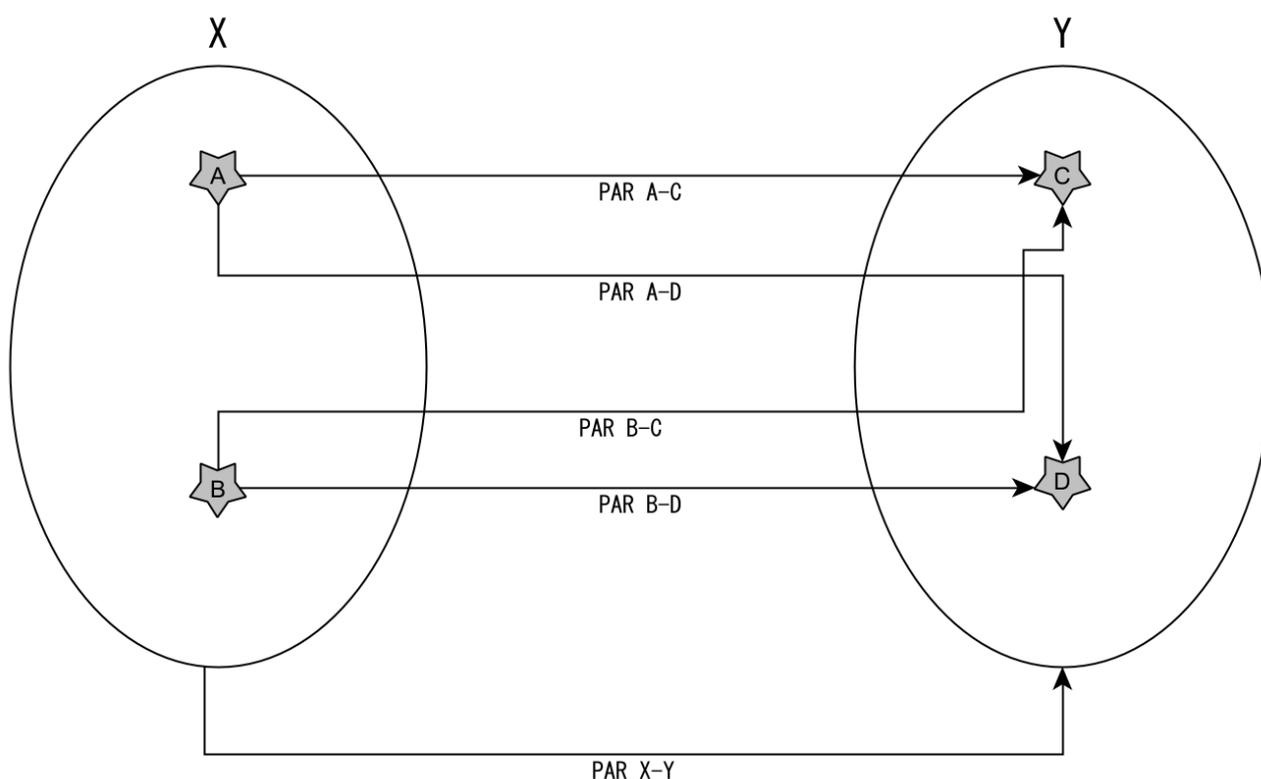
O procedimento não tem efeito na configuração espacial das viagens, pois a conexão dos centroides com a malha viária é feita no nó mais próximo, que é assumido estar associado ao *link* mais próximo do centroide.

Neste procedimento adotado não é possível limitar, previamente, a quantidade máxima de centroides. Por isso, no caso da quantidade de centroides resultantes ser superior à máxima permitida

pela versão utilizada do VISUM, adicionalmente é necessária a aplicação de um procedimento manual para fusão de centroides.

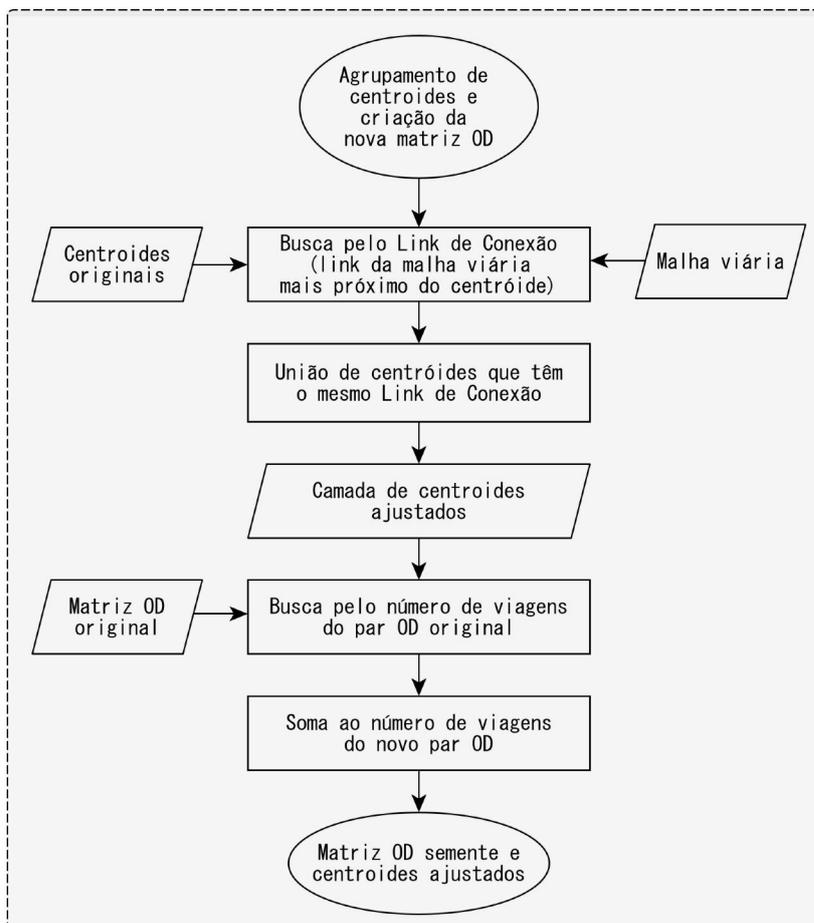
Com a mudança na camada de centroides, é necessário também atualizar a matriz OD original, de modo a somar as viagens produzidas e atraídas dos pares OD modificados e constituir a matriz OD semente a ser utilizada no trabalho. A Figura 21 apresenta o procedimento. Considerando quatro centroides originais A-B-C-D, unificados de forma com que A e B se tornem o centroide X, e C e D se tornem o centroide Y, o novo par OD X-Y será a soma das viagens dos pares OD A-C, A-D, B-C e B-D.

Figura 21: Representação da lógica utilizada para adequação da matriz OD



A Figura 22 apresenta o fluxograma dos processos desta seção. Para a adequação da camada geográfica de centroides foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice K e para a criação da nova matriz OD semente foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice L.

Figura 22: Processos para o agrupamento de centroides e criação da nova matriz OD



4.7 Ajuste de matriz OD

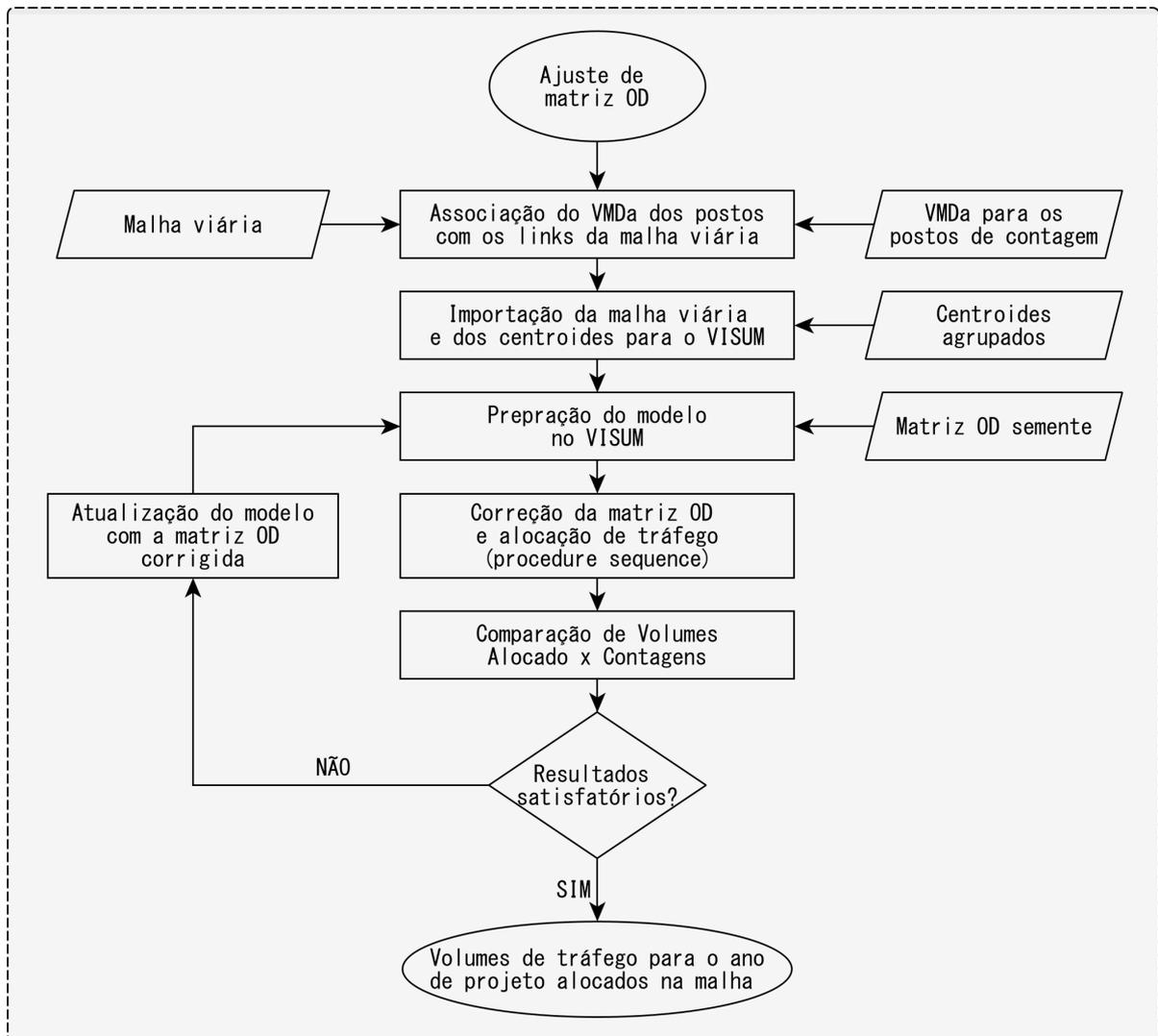
Esta seção apresenta os procedimentos adotados para a execução do ajuste de matriz OD, que tem o objetivo de determinar o VMDa para a malha viária da área de estudo e a respectiva elaboração da representação gráfica dos resultados. A Figura 23 apresenta o fluxograma dos processos desta seção.

Devido às limitações da versão utilizada, o uso da interface COM, para a automação de procedimentos utilizando *scripts*, não está disponível, de modo que todo o procedimento foi executado utilizando a interface gráfica do *software* VISUM.

Os seguintes dados de entrada são necessários para a elaboração do modelo da área de estudo no VISUM:

- malha viária com dados de VMDa direcional associados aos *links*;
- centroides da Matriz OD, como zonas de tráfego;
- matriz OD semente, representando os padrões de viagem.

Figura 23: Processos para o ajuste de matriz OD



A associação dos dados de VMDa dos postos de contagem com os *links* da malha viária é feita vinculando o dado de contagem no *link* que apresentar a menor distância euclidiana em relação à localização do posto de contagem. Os dados de VMDa, previamente associados ao arquivo *shapefile* dos postos de contagem, são vinculados conforme o respectivo sentido da contagem na via no arquivo *shapefile* dos *links* da malha viária do SNV, tendo em vista que é adotado como premissa que a sequência de vértices de todas as poligonais do arquivo da base geográfica do SNV estão de acordo com o sentido real das vias. Para a associação dos dados de VMDa com os *links* da malha viária foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice J.

Para garantir que a associação dos dados de contagem seja correspondente aos sentidos corretos da via apresentados no arquivo *shapefile*, foi feita uma análise amostral de alguns *links* da malha viária do SNV comparando os sentidos, crescente e decrescente, apresentados no QGIS e apresentado

após a importação da malha viária no VISUM, de modo que foi constatado que a importação do arquivo *shapefile* para o VISUM mantém os mesmos sentidos da via.

Com todos os dados de entrada preparados, o procedimento do ajuste de matriz OD do VISUM envolve as seguintes etapas:

1. Importação do *shapefile* contendo a configuração de centroides (zonas de tráfego);
2. Importação do *shapefile* contendo a malha viária (*links*);
3. Correção de parâmetros dos *links* e movimentos dos nós;
4. Criação de conectores das zonas de tráfego com a malha viária;
5. Executar a checagem de conexão, para garantir que o grafo está sem problemas de topologia;
6. Criação de uma matriz OD e a sua associação com a classe de demanda "Car";
7. Cópia dos dados de demanda da matriz OD de planilha eletrônica para a matriz no VISUM;
8. Criação e configuração de um *procedure sequence* (sequência de procedimentos) para a execução do ajuste de matriz OD;
9. Análise dos resultados do ajuste até atingir o critério de parada.

Na sequência são apresentados os detalhes envolvendo os procedimentos de cada etapa. O Apêndice C apresenta figuras contendo capturas de tela da interface gráfica do VISUM para todas as etapas.

Importação do *shapefile* contendo a configuração de centroides (zonas de tráfego) A Etapa 01 é feita utilizando a ferramenta de importação de arquivos *shapefile* do VISUM. Nesta etapa o arquivo contendo os centroides deve ser associado como "Zonas de tráfego" (*Zones*) e o atributo *link_relac* deve ser associado como o número de cada centroide, para que na posterior criação da matriz OD, os centroides possuam identificador de referência e organização idênticos ao arquivo da matriz OD semente.

Importação do *shapefile* contendo a malha viária (*links*) A Etapa 02 também é feita utilizando a ferramenta de importação de arquivos *shapefile* do VISUM. Nesta etapa o arquivo contendo a malha viária deve ser associado como "*Links*", a opção "*Read additively*" deve estar marcada para que a malha viária seja importada no mesmo projeto do VISUM onde foram importados os centroides, e a distância máxima entre as coordenadas dos nós para que estes sejam considerados um nó único (*snap radius*) é adotada como 20 metros²⁸. Previamente a correlação dos atributos,

²⁸A unidade adotada pela camada de dados da malha viária para os valores de distância é graus, deste modo na importação do arquivo *shapefile* deve ser adotado o valor 0,00017996410903653955 graus, equivalente à 20 metros

deve ser criado no VISUM o atributo para receber as contagens do PNCT, denominado neste trabalho de *Contagem_PNCT*. Durante o processo de importação dos *links*, o VISUM cria automaticamente os nós, de forma a criar a estrutura de grafo. A Tabela 10 apresenta a correlação dos atributos da camada geográfica da malha viária na importação para o VISUM.

Tabela 10: Correlação dos atributos na importação do arquivo *shapefile* da malha viária

| Atributo <i>shapefile</i> | Atributo VISUM | Sentido | Tipo |
|---------------------------|------------------------|-----------------------------|---|
| GID | <i>Number</i> | Simétrico | Número do <i>link</i> |
| PNCT_C | Contagem_PNCT | Crescente (<i>up</i>) | Contagens volumétricas do PNCT |
| PNCT_D | Contagem_PNCT | Decrescente (<i>down</i>) | Contagens volumétricas do PNCT |
| Length_KM | <i>Lenght</i> | Simétrico | Comprimento do <i>link</i> em quilômetros |
| N_faixas | <i>Number of lanes</i> | Simétrico | Número de faixas da via |
| Vel_max | v0_PrT | Simétrico | Velocidade máxima permitida na via para veículos privados |

Correção de parâmetros dos *links* e movimentos dos nós A Etapa 03 consiste em corrigir os parâmetros de capacidade da via (*CapPrT*) nos *links* e a classe de modo de transporte permitido (*TSysSet*) nos *links* e movimentos dos nós, definindo estes para valores padrão visando a execução das etapas seguintes sem erros. Haja vista que os dados de demanda dos postos de contagem são volumes diários, não há sentido em considerar a capacidade das vias como parâmetro de restrição quando executada a alocação de tráfego, deste modo é fixado um valor superestimado para a capacidade, que para este trabalho é fixada em 99.999 veículos/hora. As classes padrão de modos de transporte permitidas são Carros (C), Ônibus (B) e Pedestres (W), onde a classe de Carros representa os veículos privados, a classe ônibus representa todos os veículos de transporte público. Todavia, as classes de ônibus e pedestres não possuem demanda associada, logo não têm participação no experimento.

Criação de conectores das zonas de tráfego com a malha viária A Etapa 04 é feita utilizando a ferramenta de criação de conectores do VISUM. Como parâmetros são selecionados a classe de modo de transporte dos conectores a serem criados, a distância máxima entre o centroide da zona e o nó da malha viária onde ocorre a conexão e número máximo de conectores por centroide. A classe de modo de transporte dos conectores escolhida foi o transporte privado. De modo a não ocorrer problemas de zonas sem conectores na execução desta etapa, a distância máxima entre o

centroide da zona e a conexão com a malha viária é adotada como 500 km, pois existem centroides com distâncias aproximadas de 300 km da malha viária. O número máximo de conectores é adotado como 3, considerando que as cidades podem ter mais de uma conexão com a malha rodoviária.

Executar a checagem de conexão, para garantir que o grafo está sem problemas de topologia A Etapa 05 é feita utilizando a ferramenta de checagem de conexão do VISUM e tem como objetivo garantir a consistência topológica do modelo da malha viária, de modo que todos os pares OD tenham conexão entre si. A checagem é feita simulando viagens de todos para todos os centroides alocados.

Criação de uma matriz OD e a sua associação com a classe de demanda "Car" A Etapa 06 consiste na criação de uma matriz OD de demanda vazia para a classe de veículos privados "Car" (C). Para a associação da matriz de demanda criada com a respectiva classe de modo de transporte, é utilizada a interface de gerenciamento de dados de demanda de matriz OD.

Cópia dos dados de demanda da matriz OD de planilha eletrônica para a matriz no VISUM A Etapa 07 compreende em copiar os dados de demanda da matriz OD semente, armazenados em um arquivo de texto no formato CSV, e usar estes para preencher a matriz OD de demanda criada no VISUM.

Criação e configuração de um *procedure sequence* (sequência de procedimentos) para a execução do ajuste de matriz OD A Etapa 08 consiste na criação de uma sequência de procedimentos (*procedure sequence*) a serem executados pelo VISUM para que seja determinado o volume de tráfego em toda a malha por meio do ajuste da matriz OD semente. As fontes para a organização correta dos procedimentos a serem executados nesta etapa foram o conteúdo presente no Capítulo 19.8.1 do manual do usuário do VISUM (PTV, 2021) e o vídeo institucional da PTV Group sobre o procedimento de ajuste de matriz OD²⁹.

A criação e organização das operações do *procedure sequence* é feita utilizando a interface homônima do VISUM. A primeira operação é fazer a alocação dos volumes de tráfego na malha viária a partir da demanda armazenada na matriz OD semente da classe de modo de transporte "Car". Para a operação de alocação da demanda é necessário selecionar a classe de modo de transporte cuja demanda deve ser alocada e o método de alocação. Neste trabalho é adotado o método *equilibrium assignment* do VISUM, que tem como base o princípio do Equilíbrio de Wardrop, como apresentado na Seção 2.5.1, e utiliza como impedância o tempo de deslocamento em fluxo livre (t_0) na malha viária.

²⁹Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=s3RIPiXEpV8&t=285s>>, acesso em: 11/09/2021

A segunda operação a ser executada pelo *procedure sequence* é a correção da matriz de demanda. Nesta etapa, além de selecionar a classe de modo de transporte cuja matriz de demanda será corrigida e o método de correção, é necessário configurar o procedimento a ser executado. Neste trabalho é adotado o método de *least squares* (mínimos quadrados), como apresentado na Seção 2.6.1, e a configuração do procedimento para este método envolve a seleção dos dados de contagem a serem utilizados, todas as demais configurações serão mantidas no padrão do método. Ao abrir a interface de configuração da operação de correção da matriz de demanda, na aba de dados de contagem (*count values*), é selecionada apenas a opção para serem utilizados dados de contagens existentes nos *links* e associado o atributo "Contagem_PNCT", que armazena os dados de VMDa advindos dos postos de contagem. Ao manter as demais configurações da operação de correção da matriz de demanda como padrão, apenas os *links* com volume alocado e com dados de contagem não nulos serão utilizados no procedimento, além de manter o mesmo peso para todas as viagens entre os pares OD e atualizar a matriz OD semente com os dados de demanda corrigidos.

A terceira operação do *procedure sequence* é a alocação dos volumes de tráfego na malha viária considerando a nova demanda armazenada na matriz OD e utilizando os mesmos parâmetros adotados na alocação da primeira operação.

A quarta operação é a criação de uma análise de alocação e a configuração deste procedimento envolve a seleção do elemento da rede a ser analisado, bem como a seleção da opção para que sejam analisados apenas os *links* com valores de contagem não nulos. Além disso são selecionados os atributos dos volumes de tráfego alocados e os volumes das contagens para que estes sejam comparados entre si.

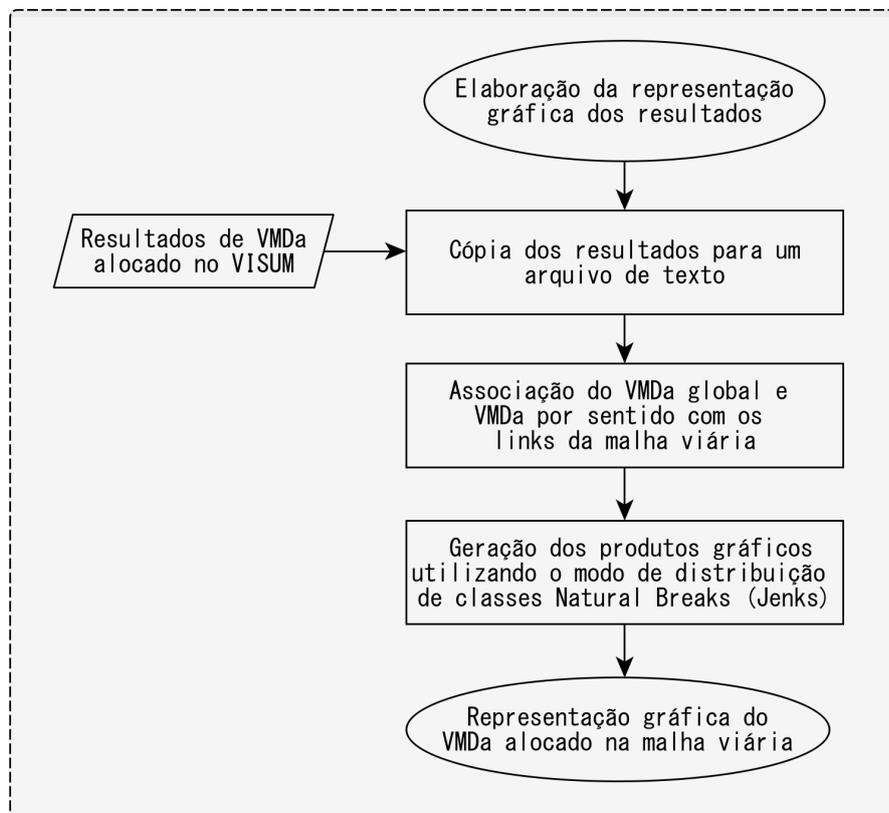
Análise dos resultados do ajuste até atingir o critério de parada A Etapa 09 tem como objetivo fazer uma avaliação dos resultados do ajuste de matriz OD por meio dos gráficos da análise de alocação. É gerado um gráfico inicial de "volume observado x volume alocado" com a alocação da matriz semente, e para cada iteração (execução do *procedure sequence*) é comparado o resultado do coeficiente de determinação (r^2) do novo gráfico gerado com o anterior. O critério de parada da execução do *procedure sequence* é quando a variação do r^2 for menor do que 0,01 entre duas iterações, de modo a considerar o resultado como satisfatório.

4.8 Elaboração da representação gráfica dos resultados

Os procedimentos apresentados nesta seção têm como objetivo a elaboração de uma representação gráfica dos resultados de volumes de tráfego determinados por meio do procedimento de ajuste de matriz OD no VISUM. A Figura 24 apresenta o fluxograma dos processos desta seção.

Os volumes alocados nos *links* no VISUM são copiados para um arquivo de texto no formato CSV. Este procedimento é necessário devido a limitação da versão adotada neste trabalho, que não

Figura 24: Processos para a elaboração da representação gráfica dos resultados



permite a exportação direta dos resultados. Deste modo, a tabela de *links* é copiada para uma planilha eletrônica com todos os seus dados relacionados, além da associação do sentido do *link* (crescente ou decrescente) aos dados copiados. Como o sentido dos *links* é no formato bidirecional dentro do VISUM, e o *link* possui o mesmo ID para ambos os sentidos, foi verificado que, na ordenação, o sentido crescente é o primeiro que aparece.

Com os dados copiados para uma planilha eletrônica, os resultados dos volumes alocados no procedimento são associados ao arquivo *shapefile* da malha viária armazenado no banco de dados. São associados os volumes individualmente por sentido e o volume global alocado no *link*. Para a execução deste procedimento foi desenvolvido o *script* apresentado no Apêndice M

Assim, é utilizado o modo de distribuição de classes *Natural Breaks (Jenks)* do QGIS para elaborar uma representação gráfica dos resultados finais dos volumes globais de tráfego alocados na malha viária.

5 Resultados

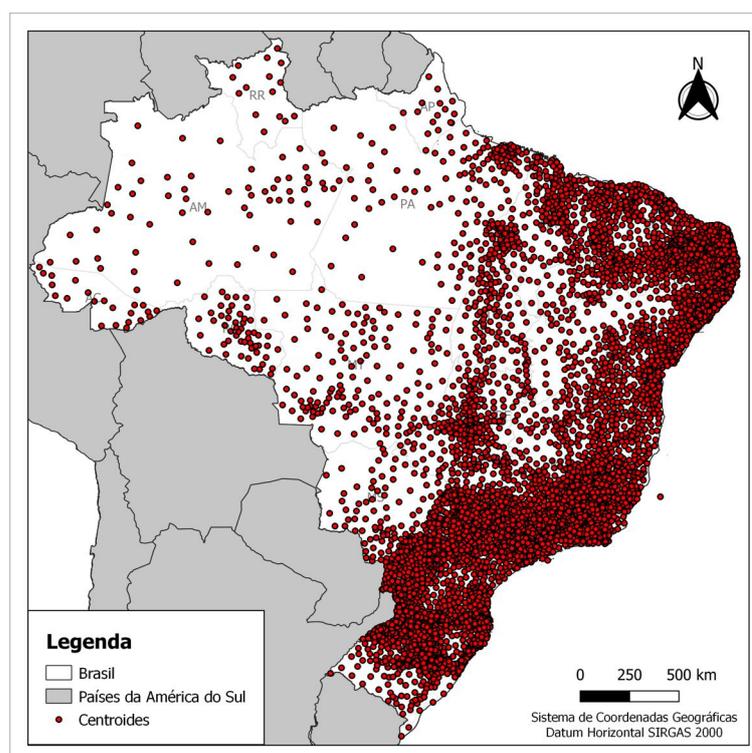
Esta seção apresenta os resultados obtidos com a aplicação dos procedimentos descritos no método.

A criação e organização do banco de dados e a inserção dos registros dos postos de contagem no banco de dados foram executados, respectivamente, pelo *script* apresentado no Apêndice D em 1 minuto e pelo *script* apresentado no Apêndice E em 43 segundos e 30 minutos e 17 segundos.

5.1 Elaboração dos dados da matriz OD

O arquivo final da camada de centroides, após a elaboração dos dados da matriz OD original, armazena as localizações de 5564 municípios brasileiros, os quais são apresentados na Figura 25.

Figura 25: Centroides dos municípios brasileiros



A Tabela 11 apresenta as cidades com nomes divergentes e a respectiva associação entre os IDs do IBGE e da pesquisa OD.

5.2 Determinação do VMDa para os postos de contagem

A verificação da completude dos conjuntos de dados dos postos de contagem, bem como o cálculo dos respectivos VMDa e fatores de expansão, para os conjuntos de dados com completude anual,

Tabela 11: Cidades com nomes divergentes entre O IBGE e a Pesquisa OD

| ID IBGE | Município/UF IBGE | ID Matriz OD | Município/UF Matriz OD |
|---------|-----------------------|--------------|------------------------------|
| 2401305 | Campo Grande/RN | 21570 | Augusto Severo/RN |
| 2410306 | Serra Caiada/RN | 21613 | Presidente Juscelino/RN |
| 2513653 | Joca Claudino/PB | 21203 | Santarém/PB |
| 2516409 | Tacima/PB | 21728 | Campo de Santana/PB |
| 2903300 | Barro Preto/BA | 20529 | Governador Lomanto Júnior/BA |
| 3515004 | Embu das artes/SP | 18253 | Embu/SP |
| 4128625 | Alto Paraíso/PR | 17118 | Vila Alta/PR |
| 4212809 | Balneário Piçarras/SC | 17969 | Piçarras/SC |

e VMDm, para os conjuntos de dados sem completude anual, mas com completude mensal, foi executada pelo *script* apresentado no Apêndice F em 3 horas, 44 minutos e 34 segundos.

Como resultados, foram identificados 116 conjuntos de dados com completude anual, cujos VMDa observados são apresentados na Tabela 12 de acordo com o respectivo posto, ano de observação e sentido. Os fatores de expansão sazonal, calculados como a média dos fatores observados em cada sentido, são apresentados na Tabela 13 de acordo com o respectivo posto e ano.

Tabela 12: VMDa observado para os conjuntos de dados com completude anual

| ID | Ano | Sentido | VMDa | ID | Ano | Sentido | VMDa | ID | Ano | Sentido | VMDa |
|----|------|---------|------|-----|------|---------|-------|-----|------|---------|------|
| 17 | 2017 | C | 1624 | 110 | 2016 | C | 1178 | 201 | 2016 | C | 8392 |
| | | D | 1586 | | | D | 1291 | | | D | 8685 |
| 26 | 2016 | C | 5754 | 118 | 2016 | C | 7812 | 218 | 2016 | C | 3156 |
| | | D | 5642 | | | D | 7809 | | | D | 2966 |
| 37 | 2016 | C | 3890 | 119 | 2015 | C | 9337 | 229 | 2016 | C | 2811 |
| | | D | 3975 | | | D | 9319 | | | D | 2812 |
| 37 | 2017 | C | 3846 | 119 | 2016 | C | 9132 | 232 | 2017 | C | 1712 |
| | | D | 3938 | | | D | 8970 | | | D | 1701 |
| 39 | 2016 | C | 6601 | 120 | 2015 | C | 10641 | 234 | 2016 | C | 2962 |
| | | D | 6579 | | | D | 10536 | | | D | 3187 |
| 50 | 2016 | C | 2576 | 121 | 2016 | C | 1617 | 235 | 2017 | C | 1535 |
| | | D | 2629 | | | D | 1635 | | | D | 1408 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 12 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|---------|------|-----|------|---------|------|-----|------|---------|-------|
| ID | Ano | Sentido | VMDa | ID | Ano | Sentido | VMDa | ID | Ano | Sentido | VMDa |
| 50 | 2018 | C | 2608 | 121 | 2017 | C | 1663 | 250 | 2016 | C | 1382 |
| | | D | 2629 | | | D | 1659 | | | D | 1266 |
| 56 | 2016 | C | 4322 | 122 | 2016 | C | 2372 | 251 | 2016 | C | 1868 |
| | | D | 4443 | | | D | 2423 | | | D | 2015 |
| 61 | 2017 | C | 1020 | 135 | 2016 | C | 1854 | 261 | 2016 | C | 2010 |
| | | D | 978 | | | D | 1862 | | | D | 2016 |
| 62 | 2016 | C | 2145 | 149 | 2017 | C | 1232 | 274 | 2016 | C | 15204 |
| | | D | 1886 | | | D | 1271 | | | D | 14945 |
| 70 | 2016 | C | 1958 | 161 | 2016 | C | 8506 | 279 | 2016 | C | 2300 |
| | | D | 1877 | | | D | 8729 | | | D | 2527 |
| 71 | 2016 | C | 2967 | 165 | 2016 | C | 2453 | 280 | 2017 | C | 3232 |
| | | D | 2978 | | | D | 2321 | | | D | 3128 |
| 77 | 2016 | C | 5706 | 165 | 2017 | C | 2474 | 288 | 2016 | C | 4201 |
| | | D | 5836 | | | D | 2349 | | | D | 4219 |
| 92 | 2015 | C | 6316 | 171 | 2016 | C | 3283 | 289 | 2016 | C | 2412 |
| | | D | 5902 | | | D | 3245 | | | D | 2451 |
| 93 | 2016 | C | 3603 | 171 | 2017 | C | 3329 | 289 | 2017 | C | 2405 |
| | | D | 3751 | | | D | 3351 | | | D | 2451 |
| 99 | 2016 | C | 1868 | 178 | 2016 | C | 4570 | 304 | 2016 | C | 3303 |
| | | D | 1619 | | | D | 4432 | | | D | 3300 |
| 103 | 2016 | C | 2654 | 180 | 2018 | C | 1043 | 306 | 2017 | C | 1273 |
| | | D | 2659 | | | D | 1137 | | | D | 1439 |
| 105 | 2016 | C | 2912 | 185 | 2016 | C | 3064 | 307 | 2016 | C | 1987 |
| | | D | 2975 | | | D | 2450 | | | D | 2329 |
| 106 | 2016 | C | 5613 | 192 | 2016 | C | 4046 | 310 | 2016 | C | 2004 |
| | | D | 5680 | | | D | 4117 | | | D | 2036 |
| 107 | 2016 | C | 1496 | | | | | | | | |
| | | D | 1537 | | | | | | | | |
| Fim da Tabela 12 | | | | | | | | | | | |

Tabela 13: Fatores de expansão sazonal calculados para os conjuntos de dados com completude anual

| ID | Ano | Fatores de expansão sazonal | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 17 | 2017 | 1,05 | 1,18 | 1,00 | 0,92 | 0,94 | 0,93 | 0,94 | 0,93 | 0,96 | 0,99 | 1,14 | 1,13 |
| 26 | 2016 | 0,98 | 1,01 | 1,00 | 1,09 | 1,03 | 1,03 | 0,94 | 1,02 | 0,99 | 0,99 | 1,02 | 0,93 |
| 37 | 2016 | 0,83 | 0,87 | 0,98 | 1,07 | 1,10 | 1,09 | 1,01 | 1,09 | 1,05 | 1,04 | 1,06 | 0,90 |
| 37 | 2017 | 0,84 | 1,02 | 0,97 | 1,02 | 1,08 | 1,05 | 0,98 | 1,07 | 1,03 | 1,03 | 1,05 | 0,93 |
| 39 | 2016 | 0,91 | 0,93 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 1,06 | 0,99 | 1,03 | 1,02 | 1,06 | 1,11 | 0,95 |
| 50 | 2016 | 1,05 | 0,95 | 1,04 | 0,97 | 0,98 | 1,03 | 0,94 | 0,99 | 0,95 | 0,99 | 1,08 | 1,05 |
| 50 | 2018 | 0,97 | 0,98 | 1,01 | 1,02 | 1,10 | 1,05 | 0,94 | 1,01 | 0,92 | 1,00 | 1,06 | 0,96 |
| 56 | 2016 | 0,99 | 1,09 | 1,09 | 1,05 | 1,02 | 1,01 | 0,86 | 1,00 | 0,99 | 1,06 | 1,04 | 0,87 |
| 61 | 2017 | 1,21 | 0,93 | 1,01 | 1,04 | 0,96 | 1,01 | 0,88 | 0,96 | 0,98 | 0,94 | 1,09 | 1,05 |
| 62 | 2016 | 1,00 | 0,93 | 1,01 | 1,02 | 1,10 | 0,96 | 0,88 | 0,90 | 0,95 | 1,08 | 1,14 | 1,11 |
| 70 | 2016 | 0,88 | 0,98 | 1,02 | 1,03 | 1,03 | 1,05 | 0,91 | 1,03 | 1,03 | 1,05 | 1,14 | 0,94 |
| 71 | 2016 | 0,97 | 0,94 | 1,00 | 1,03 | 1,03 | 1,12 | 0,92 | 1,03 | 1,00 | 0,96 | 1,10 | 0,95 |
| 77 | 2016 | 0,96 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 0,91 | 1,03 | 1,00 | 1,02 | 1,05 | 0,92 |
| 92 | 2015 | 1,00 | 1,03 | 1,06 | 1,02 | 1,04 | 1,05 | 0,94 | 0,98 | 0,99 | 0,97 | 1,04 | 0,92 |
| 93 | 2016 | 0,89 | 0,95 | 1,03 | 1,05 | 1,07 | 1,16 | 0,95 | 1,05 | 1,01 | 0,99 | 1,04 | 0,90 |
| 99 | 2016 | 0,93 | 0,92 | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 1,00 | 1,04 | 1,12 | 0,93 | 1,05 | 1,21 | 1,11 |
| 103 | 2016 | 1,05 | 1,01 | 1,00 | 1,01 | 1,00 | 1,03 | 0,97 | 0,95 | 0,94 | 0,99 | 1,06 | 1,03 |
| 105 | 2016 | 0,97 | 0,96 | 1,02 | 1,00 | 1,03 | 1,12 | 0,93 | 0,99 | 1,00 | 1,01 | 1,03 | 0,98 |
| 106 | 2016 | 1,06 | 0,95 | 1,03 | 1,00 | 1,01 | 1,06 | 0,94 | 1,01 | 0,98 | 0,99 | 1,03 | 0,98 |
| 107 | 2016 | 0,82 | 1,01 | 1,07 | 1,04 | 1,03 | 1,05 | 0,92 | 1,06 | 1,07 | 1,07 | 1,14 | 0,86 |
| 110 | 2016 | 0,83 | 1,03 | 1,06 | 1,04 | 1,04 | 1,06 | 0,93 | 1,06 | 1,05 | 1,06 | 1,13 | 0,86 |
| 118 | 2016 | 0,90 | 1,06 | 1,07 | 1,07 | 1,06 | 1,02 | 0,90 | 1,04 | 1,02 | 1,03 | 1,02 | 0,88 |
| 119 | 2015 | 0,88 | 1,04 | 1,07 | 1,02 | 1,06 | 1,03 | 0,91 | 1,04 | 1,04 | 0,99 | 1,07 | 0,93 |
| 119 | 2016 | 0,91 | 1,05 | 1,04 | 1,06 | 1,06 | 1,12 | 0,90 | 1,03 | 1,00 | 1,02 | 1,01 | 0,88 |
| 120 | 2015 | 0,88 | 1,01 | 1,07 | 1,01 | 1,05 | 1,03 | 0,92 | 1,05 | 1,03 | 0,99 | 1,08 | 0,94 |
| 121 | 2016 | 1,03 | 1,02 | 1,03 | 1,02 | 0,99 | 1,01 | 0,92 | 1,00 | 0,94 | 1,02 | 1,04 | 0,99 |
| 121 | 2017 | 0,98 | 1,04 | 1,06 | 0,96 | 1,02 | 0,97 | 0,93 | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 1,06 | 1,01 |
| 122 | 2016 | 1,05 | 1,07 | 1,05 | 1,04 | 1,02 | 1,02 | 0,90 | 0,94 | 0,98 | 0,98 | 1,03 | 0,95 |
| 135 | 2016 | 1,01 | 0,98 | 1,02 | 1,01 | 1,08 | 1,04 | 0,93 | 0,97 | 1,03 | 1,00 | 1,04 | 0,92 |
| 149 | 2017 | 1,17 | 0,96 | 0,98 | 1,07 | 1,01 | 1,01 | 0,94 | 0,96 | 0,89 | 0,98 | 1,04 | 1,05 |
| 161 | 2016 | 0,89 | 0,94 | 1,02 | 1,08 | 1,08 | 1,05 | 1,00 | 1,04 | 1,03 | 0,98 | 1,00 | 0,92 |
| 165 | 2016 | 0,94 | 0,98 | 0,98 | 1,01 | 1,02 | 1,00 | 0,99 | 1,05 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 0,93 |

Continua na próxima página

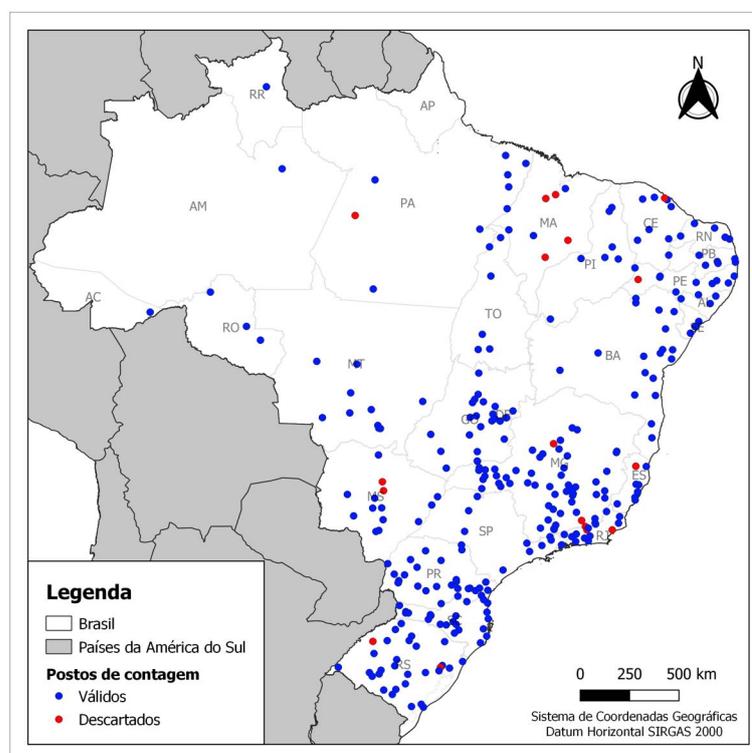
| Continuação da Tabela 13 | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ID | Ano | Fatores de expansão sazonal | | | | | | | | | | | |
| | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 165 | 2017 | 0,97 | 1,01 | 1,01 | 1,03 | 1,03 | 0,97 | 0,96 | 1,03 | 1,02 | 1,04 | 1,03 | 0,92 |
| 171 | 2016 | 0,97 | 1,03 | 1,02 | 1,06 | 1,05 | 0,99 | 0,95 | 1,01 | 1,00 | 1,00 | 1,02 | 0,92 |
| 171 | 2017 | 0,95 | 1,04 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,00 | 0,96 | 1,01 | 0,98 | 1,00 | 1,02 | 0,94 |
| 178 | 2016 | 1,04 | 1,03 | 1,00 | 1,03 | 1,04 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,95 |
| 180 | 2018 | 0,90 | 1,07 | 1,08 | 1,07 | 1,15 | 1,01 | 0,91 | 1,03 | 0,98 | 0,99 | 1,03 | 0,88 |
| 185 | 2016 | 0,89 | 0,91 | 0,99 | 1,03 | 1,03 | 1,09 | 1,05 | 1,05 | 0,99 | 1,03 | 1,03 | 0,98 |
| 192 | 2016 | 0,98 | 1,04 | 1,14 | 1,13 | 1,11 | 1,01 | 0,86 | 0,99 | 0,97 | 1,01 | 0,94 | 0,91 |
| 201 | 2016 | 0,95 | 0,98 | 1,01 | 1,03 | 1,04 | 1,02 | 0,95 | 1,01 | 0,97 | 0,99 | 0,96 | 1,16 |
| 218 | 2016 | 0,82 | 0,92 | 0,99 | 1,03 | 1,06 | 1,10 | 1,02 | 1,04 | 1,04 | 1,07 | 1,07 | 0,92 |
| 229 | 2016 | 0,94 | 0,99 | 1,03 | 1,05 | 1,03 | 1,06 | 0,96 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,03 | 0,90 |
| 232 | 2017 | 0,98 | 1,00 | 1,02 | 1,06 | 1,05 | 1,02 | 0,97 | 0,97 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,98 |
| 234 | 2016 | 0,94 | 1,01 | 1,02 | 1,09 | 1,06 | 1,01 | 0,96 | 1,04 | 0,98 | 0,97 | 1,04 | 0,92 |
| 235 | 2017 | 1,01 | 1,01 | 1,08 | 1,04 | 1,03 | 0,99 | 0,97 | 0,99 | 0,95 | 0,97 | 1,00 | 0,97 |
| 250 | 2016 | 0,90 | 0,92 | 1,06 | 1,11 | 0,97 | 1,04 | 0,94 | 1,11 | 1,05 | 1,08 | 0,99 | 0,91 |
| 251 | 2016 | 0,72 | 0,79 | 0,99 | 1,02 | 1,04 | 1,18 | 1,10 | 1,19 | 1,12 | 1,14 | 1,06 | 0,91 |
| 261 | 2016 | 1,00 | 0,95 | 1,02 | 1,04 | 0,96 | 0,98 | 1,00 | 1,03 | 1,04 | 1,01 | 1,00 | 0,98 |
| 274 | 2016 | 0,75 | 0,81 | 0,98 | 1,07 | 1,11 | 1,16 | 1,06 | 1,15 | 1,08 | 1,13 | 1,01 | 0,91 |
| 279 | 2016 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 0,96 | 1,02 | 0,99 | 1,03 | 1,01 | 0,97 |
| 280 | 2017 | 1,10 | 1,09 | 1,09 | 1,10 | 1,10 | 1,12 | 0,91 | 0,93 | 0,92 | 0,95 | 0,92 | 0,88 |
| 288 | 2016 | 0,80 | 0,88 | 0,97 | 1,02 | 1,03 | 1,14 | 1,00 | 1,15 | 1,10 | 1,09 | 1,03 | 0,93 |
| 289 | 2016 | 0,86 | 0,90 | 0,95 | 1,05 | 1,07 | 1,08 | 1,01 | 1,06 | 1,04 | 1,06 | 1,04 | 0,94 |
| 289 | 2017 | 0,89 | 0,93 | 1,01 | 1,02 | 1,08 | 1,11 | 1,00 | 1,03 | 1,00 | 1,02 | 1,04 | 0,91 |
| 304 | 2016 | 0,98 | 0,98 | 0,97 | 0,99 | 1,04 | 1,06 | 0,95 | 1,04 | 1,02 | 1,00 | 1,06 | 0,94 |
| 306 | 2017 | 0,94 | 1,03 | 1,05 | 0,96 | 1,11 | 1,08 | 0,92 | 1,07 | 1,01 | 0,99 | 0,98 | 0,91 |
| 307 | 2016 | 0,97 | 1,01 | 1,00 | 0,99 | 1,03 | 1,00 | 0,91 | 1,06 | 1,09 | 1,05 | 1,07 | 0,89 |
| 310 | 2016 | 0,91 | 1,06 | 1,10 | 1,08 | 1,08 | 1,06 | 0,82 | 1,02 | 1,06 | 1,05 | 1,06 | 0,84 |
| Fim da Tabela 13 | | | | | | | | | | | | | |

Ao todo foram obtidos VMDa para 1718 conjuntos de dados em 293 postos de contagem, sendo que os 19 postos que não apresentaram algum conjunto de dados válido foram descartados do trabalho. A Tabela 14 apresenta os postos de contagem que foram descartados do trabalho. A Figura 26 apresenta os postos de contagem de acordo com a existência de conjunto de dados válidos para o trabalho.

Tabela 14: Postos de contagem descartados

| ID | UF | Rodovia | Km |
|-----|----|---------|-------|
| 28 | CE | BR-222 | 33,5 |
| 33 | DF | BR-251 | 17,1 |
| 40 | ES | BR-342 | 117,8 |
| 64 | MA | BR-135 | 437,7 |
| 66 | MA | BR-222 | 302,0 |
| 67 | MA | BR-222 | 370,0 |
| 69 | MA | BR-230 | 312,0 |
| 76 | MG | BR-040 | 780,0 |
| 108 | MG | BR-365 | 171, |
| 132 | MS | BR-163 | 537,0 |
| 133 | MS | BR-163 | 598,0 |
| 154 | PA | BR-163 | 629,3 |
| 169 | PE | BR-122 | 149,0 |
| 193 | PR | BR-163 | 181,4 |
| 215 | RJ | BR-040 | 33,0 |
| 216 | RJ | BR-040 | 4,0 |
| 217 | RJ | BR-101 | 142,5 |
| 254 | RS | BR-285 | 569,6 |
| 265 | RS | BR-386 | 438,0 |

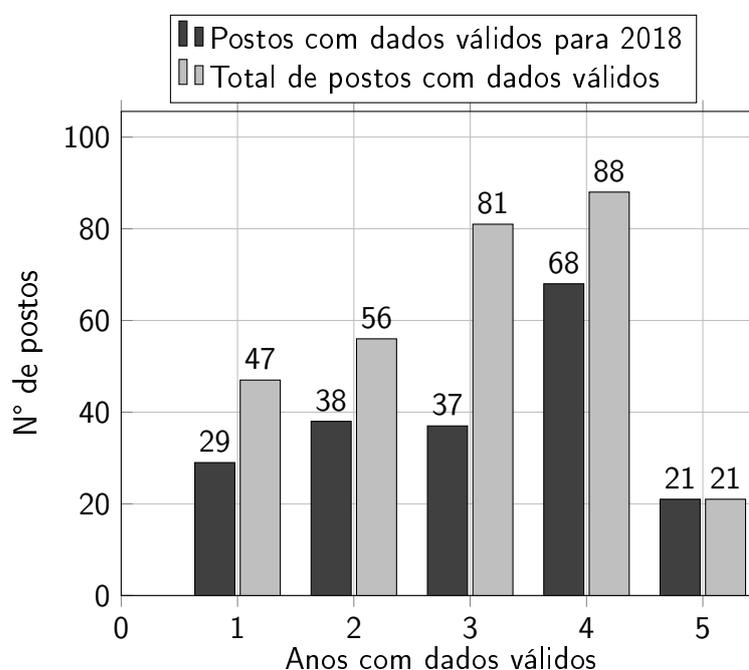
Figura 26: Postos de contagem de acordo com a validade de dados



O *script* apresentado no Apêndice G associou os conjuntos de dados de curta duração com os postos de referência e calculou os respectivos VMDa expandidos em 42 segundos. Os resultados de VMDa para cada conjunto de dados é apresentado de acordo com o respectivo posto e sentido no Apêndice A.

Com os VMDa determinados, o *script* apresentado no Apêndice H verificou a série histórica de conjunto de dados válidos nos postos de contagem em 2 segundos. Para o ano de 2018 foram determinados VMDa em 193 postos, os quais adotam este como o VMDa de projeto. A Figura 27 apresenta a distribuição de postos de acordo com a abrangência da série histórica de conjuntos de dados válidos.

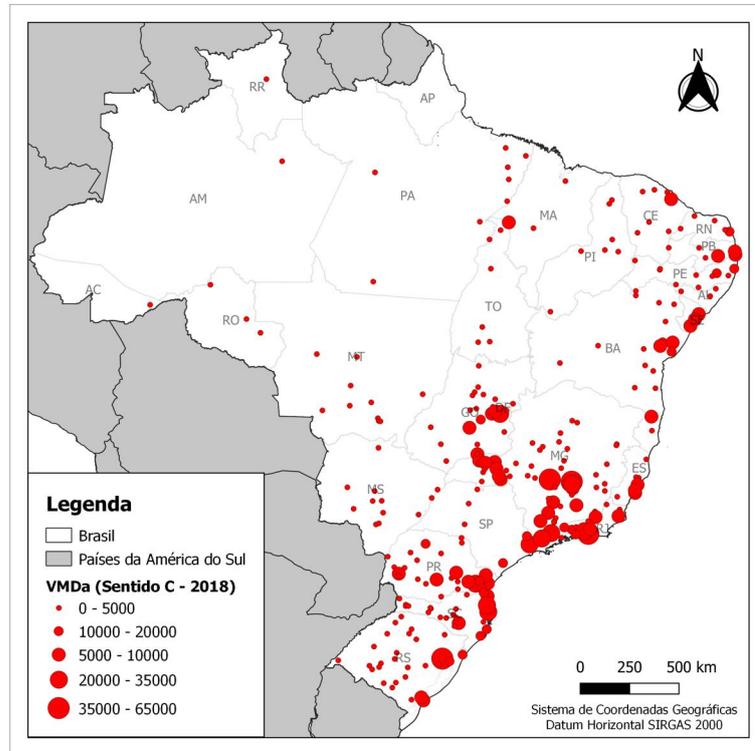
Figura 27: Distribuição de postos de contagem de acordo com a abrangência da série histórica de conjuntos de dados válidos



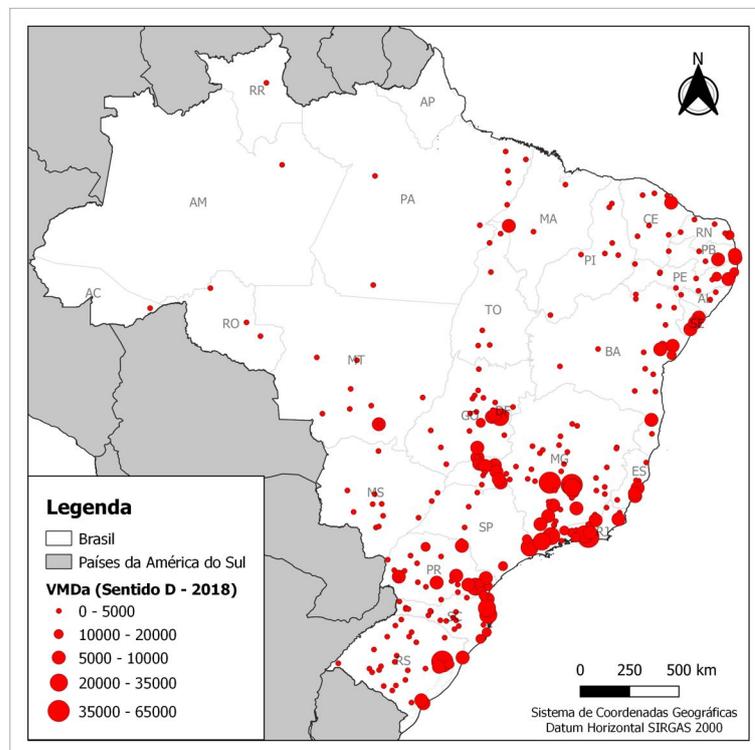
Nos 100 postos em que não foi possível a determinação do VMDa para o ano de 2018, o *script* apresentado no Apêndice I fez a projeção dos dados, de acordo com a abrangência da série histórica de conjuntos de dados válidos, em 1 minuto e 6 segundos, sendo este adotado como o VMDa de projeto para o posto. Os VMDa de projeto determinados para cada posto de contagem são apresentados no Apêndice A.

Após a determinação do VMDa para todos os postos que apresentaram conjuntos de dados válidos, o *script* apresentado no Apêndice J associou estes, de acordo com o sentido, com os respectivos *links* da malha viária em que se localizam em 1 minuto e 3 segundos. A Figura 28 apresenta o VMDa nos postos de contagem para o ano de projeto de acordo com o sentido da via.

Figura 28: VMDa nos postos de contagem para o ano de projeto



(a) Sentido crescente

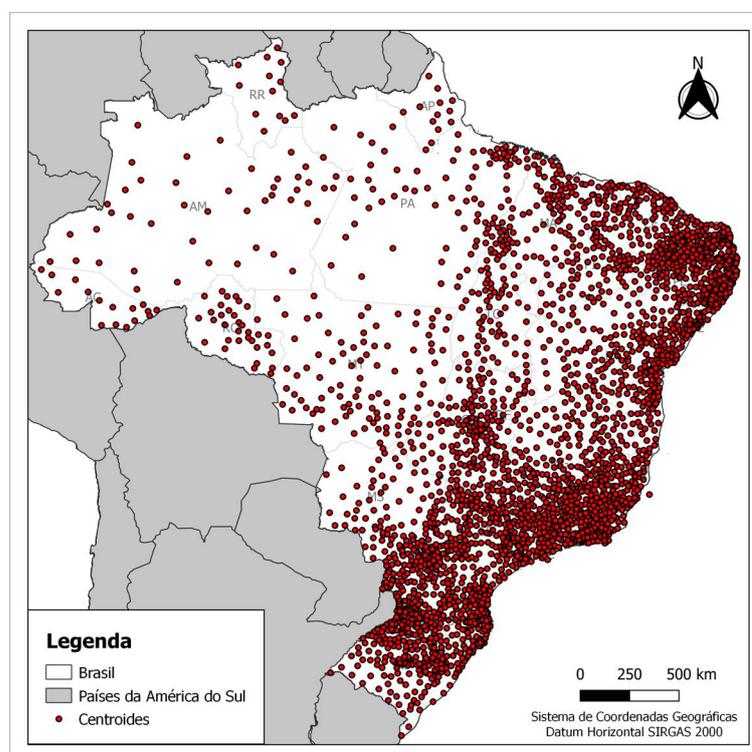


(b) Sentido decrescente

5.3 Agrupamento de centroides e criação da nova matriz OD

O procedimento executado para adequar o número de centroides da área de estudo foi executado pelo *script* apresentado no Apêndice K em 18 minutos e 22 segundos. Os 5564 centroides originais foram agrupados, resultando em uma nova camada com 2920 centroides. Deste modo, o procedimento executado apresenta um resultado que atende às limitações do *software* VISUM e não é necessária a aplicação de um procedimento manual para fusão de centroides. A Figura 29 apresenta a configuração de centroides agrupados adotada neste trabalho.

Figura 29: Configuração de centroides agrupados



O procedimento executado para criar a matriz OD dos centroides agrupados foi executado pelo *script* apresentado no Apêndice L em 3 horas, 24 minutos e 57 segundos.

5.4 Procedimentos no VISUM

Ao executar o procedimento da checagem de conexão no VISUM, etapa que tem como premissa a verificação de possíveis problemas de topologia no grafo, foram identificados alguns centroides com problemas de conexão.

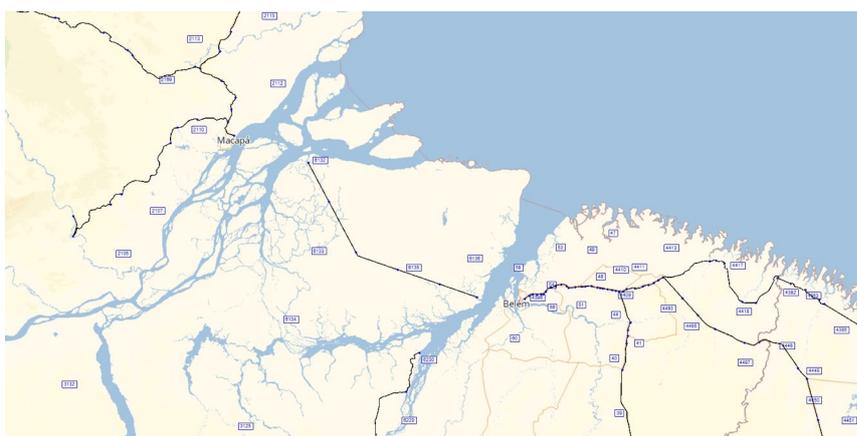
Deste modo, foi feita uma verificação visual, na interface gráfica do VISUM, em busca dos possíveis problemas envolvendo estes centroides não conectados. O resultado encontrado foi a

presença de segmentos isolados na malha, ou seja, um determinado trecho que não tinha conexão com o restante da malha. Estes centroides se conectavam apenas a esse segmento isolado, de modo que a interação com os demais ficava comprometida.

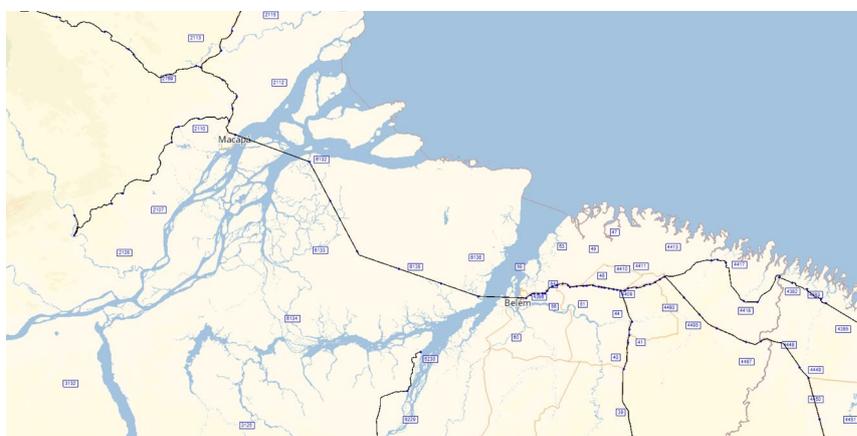
O segmento isolado em questão é a rodovia BR-417, localizada inteiramente dentro da Ilha de Marajó, no Pará. Esta rodovia é do tipo planejada, possui 235 km e liga os vilarejos de Afuá, Anajás e Ponta de Pedra.

Para a correção deste problema, a situação ideal seria a criação de uma conexão que simulasse uma travessia de barco que conectasse as extremidades do trecho com pontos da malha viária. Entretanto, tal solução adentraria em procedimentos não abordados neste trabalho, como alocação multimodal de viagens. Deste modo, foi adotada uma solução simplificada considerando uma conexão via terrestre, com a criação de *links*, entre as extremidades do segmento isolado e a malha viária. A Figura 30 mostra a correção da malha viária no procedimento de checagem de conexão, apresentando o antes e depois do trecho da BR-417.

Figura 30: Correção da malha viária no procedimento de checagem de conexão



(a) Antes da correção



(b) Depois da correção

A execução do *procedure sequence* no VISUM é um procedimento iterativo cujo critério de parada consiste na análise dos resultados estatísticos do r^2 do gráfico de "volumes alocados x volumes observados". Além da alocação inicial, na qual foram comparados os resultados da alocação da matriz semente, foram necessárias 6 iterações do *procedure sequence* para alcançar o critério de parada, com um resultado final de r^2 de 0,99. Os resultados de todas as iterações são apresentados na Tabela 15. A Figura 31 apresenta o gráfico da última iteração do *procedure sequence*.

Tabela 15: Resultados das iterações do *procedure sequence*

| Iteração | r^2 | RMSE ³⁰ | Coef. Angular | Coef. Linear | MRE ³¹ (%) |
|------------------|-------|--------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| Alocação Inicial | 0,09 | 140 | 0,13 | 2929,41 | 71% |
| 01 | 0,81 | 65 | 0,70 | 1228,65 | 21% |
| 02 | 0,87 | 53 | 0,79 | 918,94 | 14% |
| 03 | 0,96 | 33 | 0,86 | 528,61 | 9% |
| 04 | 0,98 | 19 | 0,93 | 216,15 | 6% |
| 05 | 0,99 | 15 | 0,96 | 106,87 | 5% |
| 06 | 0,99 | 13 | 0,98 | 51,02 | 4% |

5.5 Representação gráfica dos resultados de VMDa para a malha viária

O procedimento de estimação da matriz OD define rotas para que as viagens entre os pares OD resultem em volumes correspondentes aos observados em campo. Apesar de ser um procedimento que gere como resultado uma nova matriz OD, o resultado que possui relevância para este trabalho são os volumes alocados nos *links* da malha viária.

Os resultados da alocação de tráfego no VISUM foram copiados para um arquivo CSV, de acordo com o respectivo sentido da via, e a associação dos volumes globais alocados com os respectivos *links* da malha viária foi executada pelo *script* apresentado no Apêndice M em 1 minuto e 8 segundos.

A Figura 32 apresenta os resultados da alocação de tráfego na malha viária federal após a classificação dos volumes no *software* QGIS, utilizando o modo de distribuição de classes *Natural Breaks (Jenks)*.

³⁰RMSE = raiz quadrada do erro médio, do inglês *root-mean-square error*

³¹MRE = erro relativo médio, do inglês *mean relative error*

Figura 31: Análise dos volumes observados e alocados na última iteração

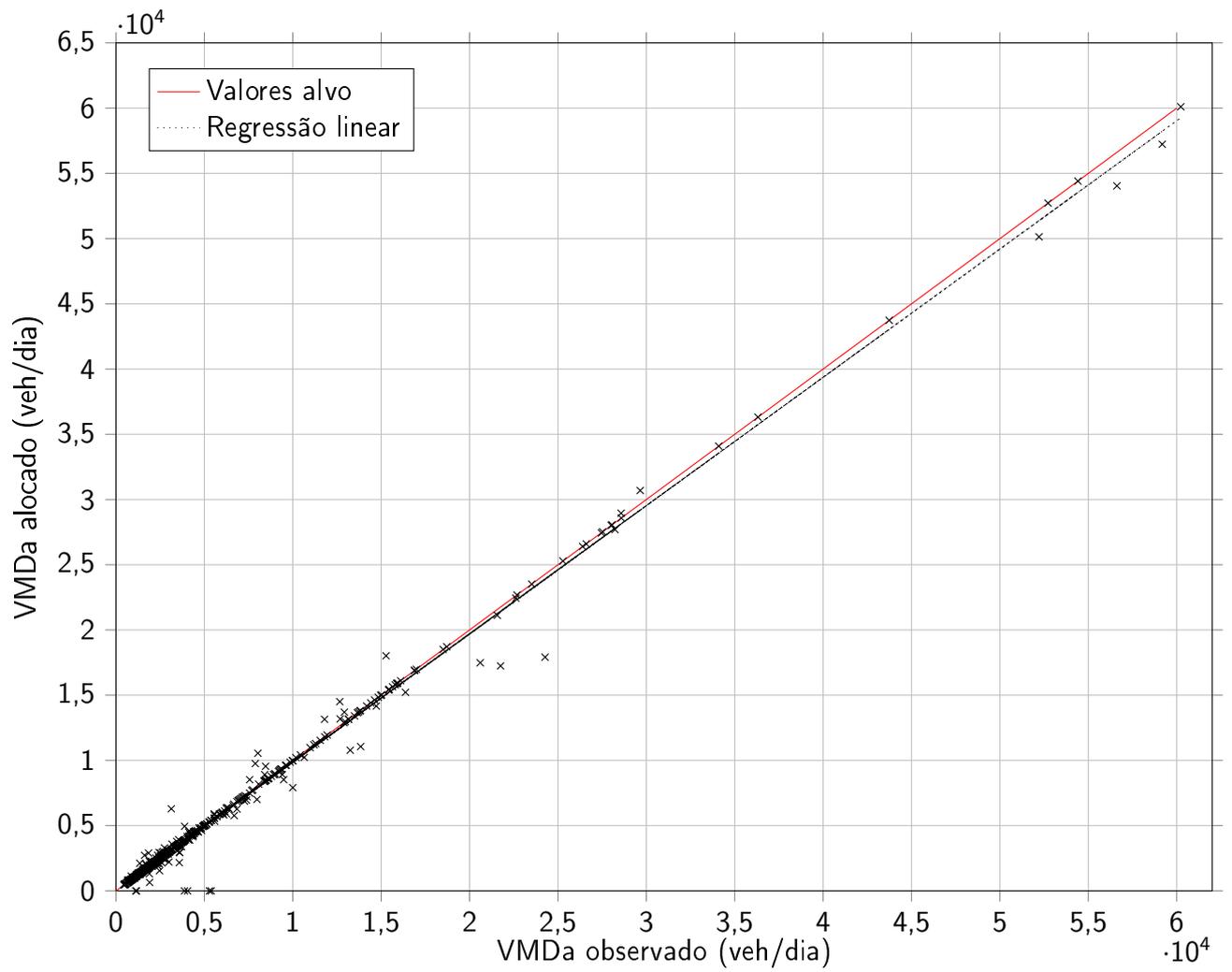
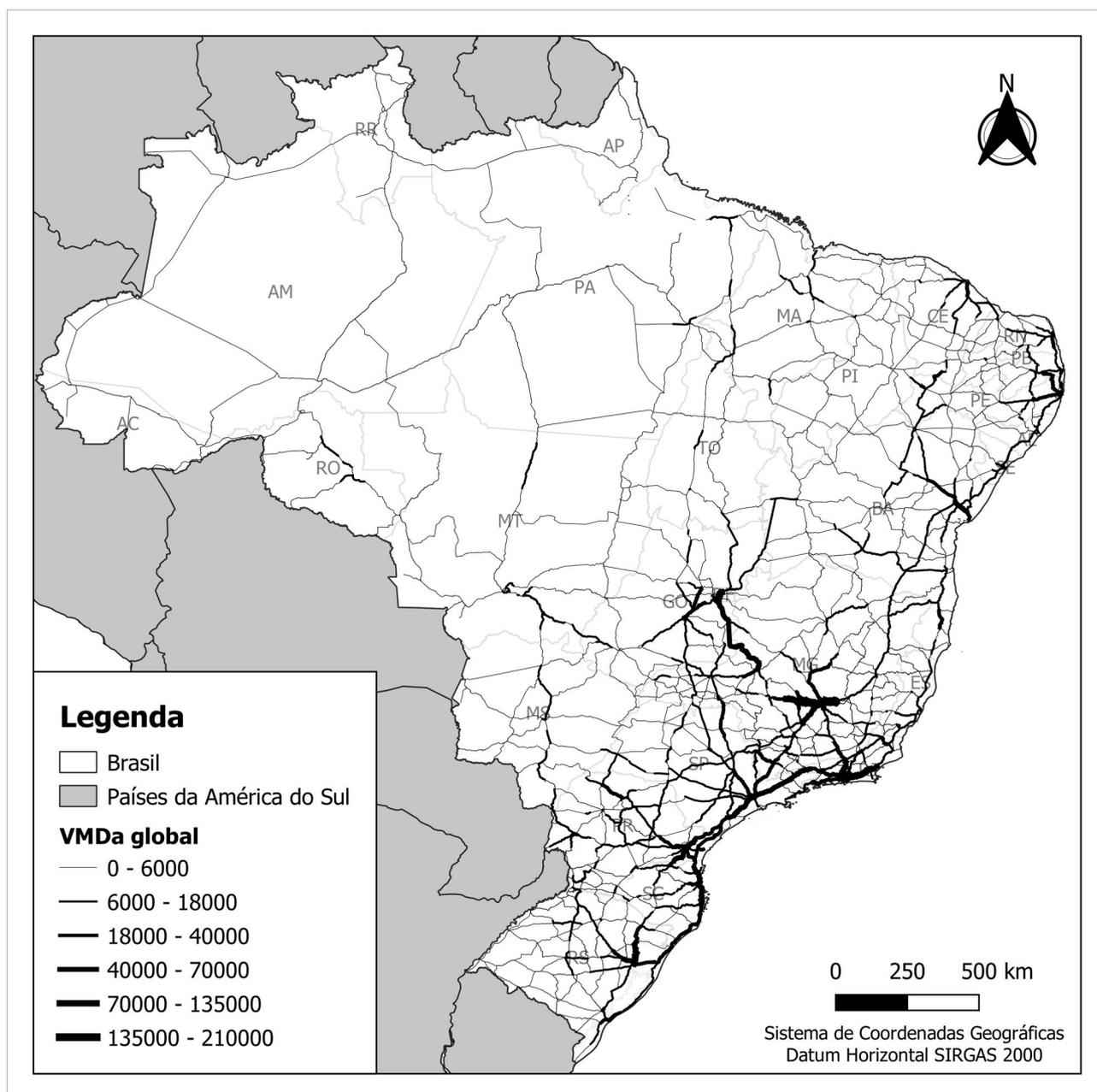


Figura 32: VMDa global alocado na malha viária para o ano de projeto



6 Conclusões

Este trabalho resultou na determinação do VMDa para todos os segmentos da malha rodoviária federal brasileira no ano de 2018, por meio de um procedimento de ajuste de matriz OD, tendo como base os dados dos postos do programa de contagem contínua do PNCT e a matriz OD desenvolvida pela PNT.

A determinação de volumes de tráfego para uma malha viária é uma etapa imprescindível a qualquer estudo de engenharia de tráfego e os resultados alcançados com este trabalho tem aplicação em diversos contextos de operação, projeto e planejamento da infraestrutura de transportes. A realização sistemática deste procedimento é necessária para um bom gerenciamento dos recursos a serem investidos na malha rodoviária federal brasileira, de modo que, além de servir de auxílio na identificação de locais prioritários para investimentos, a continuidade de um programa de determinação do VMDa para a malha viária permite o acompanhamento da efetividade das ações aplicadas.

A aplicação de conhecimentos de expansão volumétrica e projeção de demanda permitiu o processamento dos dados de registros de contagem, de modo com que fossem obtidos o VMDa para os postos da área de estudo, dados necessários para a construção do modelo da área de estudo no VISUM. A associação entre conjuntos de dados visando a expansão dos dados de volume de conjuntos de dados de curta duração foi feita pelo critério de menor distância euclidiana, de tal modo que a confiabilidade dos resultados, em relação à associação entre conjuntos de dados que possuam os mesmos padrões de tráfego, é baixa. Todavia, a elaboração de um procedimento mais sofisticado seria, por si só, tema central para um outro trabalho acadêmico.

A aplicação de conhecimentos de alocação de tráfego e ajuste de matriz OD permitiu a organização da sequência correta de procedimentos a serem executados no VISUM, visando a determinação do VMDa na malha viária da área de estudo.

O DNIT disponibiliza, no endereço eletrônico do PNCT, os registros de contagem obtidos para todos os postos do Programa de Contagem Contínua. Estes dados são disponibilizados de forma fragmentada, o que exige o uso de bibliotecas de programação que automatizem o uso da interface para sua obtenção de forma sistemática. Tendo em vista a importância dos dados de contagem do PNCT, seria interessante a possibilidade de obter estes dados de forma agrupada, de acordo com o interesse do usuário, bem como a disponibilização de um arquivo georreferenciado com as localizações dos postos de contagem.

A base de dados da matriz OD, também disponibilizados pelo DNIT no PNCT, não possui uma camada de centroides associada aos dados de demanda, de modo que uso de dados de outras fontes, de forma complementar, é necessário para viabilizar a aplicação destes dados.

Já os dados de infraestrutura, disponibilizados pelo DNIT no SNV, foram compostos pelas poligonais geométricas dos eixos das rodovias que compõem a malha rodoviária federal brasileira. Estes

dados foram tratados com o objetivo de constituir uma estrutura de grafo que fosse representativa da área de estudo. O DNIT tem aumentado a frequência de revisões destes dados ao longo dos últimos anos, todavia, estes ainda carecem de maiores informações sobre sua consistência topológica, visando a aplicação destes como uma estrutura de grafo.

Os recursos de geoprocessamento auxiliaram na estruturação dos dados de infraestrutura, bem como na correlação entre os dados complementares da camada de centroides e os dados de demanda da matriz OD. Além disso, os recursos de SIG foram necessários para a elaboração da representação gráfica dos resultados, de modo que seu uso impacta diretamente na qualidade de projetos relacionados com a área de transportes.

A busca pela sistematização de processos verificou que existem ferramentas computacionais disponíveis para que todos os procedimentos executados neste trabalho sejam automatizados, de modo que não houvessem dificuldades na obtenção sistemática destes resultados. Ao todo, foram desenvolvidos 13 *scripts* para a implementação computacional de procedimentos sistemáticos deste trabalho. Todavia, baseado no nível de sofisticação adequado ao contexto de um TCC, foi decidido por não sistematizar processos que não acarretariam em ganho de performance para este trabalho, ou seja, que demandariam um tempo de implementação maior do que a execução do procedimento manual, os quais são identificados a seguir:

- o uso das funções "Linhas com quebra" e "Adicionar atributos de geometria" no QGIS para o beneficiamento dos dados de infraestrutura;
- a associação entre os IDs das cidades na base de dados do IBGE com os IDs das cidades na base de dados da matriz OD com o uso de planilha eletrônica;
- a verificação e pesquisa de cada uma das ocorrências de cidades com nomes divergentes entre as bases de dados e a posterior correção com o auxílio de uma planilha eletrônica;
- o uso das função "Centroides" no QGIS para a elaboração dos dados da matriz OD;
- a criação de *links* no VISUM para a correção de segmentos isolados na malha viária;
- a cópia dos resultados de VMDa alocado na malha viária do VISUM para um arquivo de texto no formato CSV;
- o uso do modo de distribuição *Natural Breaks (Jenks)* do QGIS para a elaboração da representação gráfica dos resultados de VMDa para a malha viária.

O uso da interface COM do VISUM, indisponível para a versão utilizada neste trabalho, permitiria a execução dos procedimentos da Seção 4.7 de forma sistemática, sem a necessidade de uso da interface gráfica do *software*. Entretanto, a identificação e correção de problemas, como o caso da presença de segmentos isolados na malha, se torna mais difícil, de modo que o uso da interface gráfica é necessária para compreensão dos procedimentos a serem implementados.

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

Este trabalho identificou pontos que podem ser explorados para o aperfeiçoamento dos procedimentos desenvolvidos, bem como dos resultados encontrados. Deste modo, são feitas as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

1. busca e utilização de outros métodos para a correlação entre os postos de contagem para a expansão dos conjuntos de dados de curta duração;
2. busca e utilização de um número maior de postos de contagem com dados disponíveis;
3. uso dos dados de demanda da matriz OD terrestre, obtida a partir de *big data* da telefonia móvel e desenvolvida pelo Ministério da Infraestrutura, como matriz semente;
4. o procedimento, aplicado neste trabalho em uma escala regional, pode ser replicado em escalas urbanas, de forma a executar uma atualização dos volumes de tráfego medidos nas vias e auxiliar nas operações e no planejamento de transportes em um contexto municipal ou metropolitano;
5. uso de um *software*, preferencialmente de natureza não-comercial, ou o desenvolvimento de uma implementação própria, que permita a aplicação do método sem a necessidade de adaptação dos dados.

Referências

- Almeida, A. F. M. *Análise Comparativa da Aplicação de Modelos para Imputação do Volume Médio Diário de Séries Históricas de Volume de Tráfego*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Mestrado em Engenharia do Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. 100p.
- Bell, M. G. H. The estimation of origin-destination matrices by constrained generalised least squares. *Transportation Research*, v. 25B, n. 1, p. 13–22, 1991.
- Bera, S.; Rao, K. V. K. Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art. *European Transport*, 2011.
- Bert, E. *Dynamic urban origin-destination matrix estimation methodology*. Tese (Doutorado) — École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne - Suíça, 2009.
- Brasil. *Lei N° 5.917, de 10 de setembro de 2011*. 1973.
- Brasil. *Manual de Identificação, Análise e Tratamento de Pontos Negros*. Brasília, 1982. Departamento Nacional de Trânsito. 127p.
- Brasil. *Constituição da República Federativa do Brasil*. 1988.
- Brasil. *Lei N° 9.503, de 23 de setembro de 1997*. 1997. Código de Trânsito Brasileiro.
- Brasil. *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Rio de Janeiro, 1999. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR - 706. 384 p.
- Brasil. *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro, 2006. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR - 723. 384 p.
- Brasil. *Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas*. [S.l.], 2007. Versão 1.1.
- Brasil. *Lei N° 12.379, de 6 de janeiro de 2011*. 2011.
- Brasil. *Nota Técnica N°04/2019/DE*. [S.l.], 2019.
- Campos, V. B. G. *Planejamento de transportes - Conceitos e modelos*. 1a. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Interciência, 2013.
- Cardoso, I. T. Identificação de segmentos concentradores de acidentes nas rodovias estaduais de Santa Catarina. 2018.
- Cascetta, E. Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: a generalized least squares estimator. *Transportation Research*, v. 18B, n. 4/5, p. 289–299, 1984.
- Cascetta, E. *Transportation system analysis*. 2nd. ed. [S.l.]: Springer, 2009. v. 29.
- Chen, C. et al. The promises of big data and small data for travel behavior(aka human mobility) analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 68, p. 285–299, 2016.
- CNT. *Boletim Estatístico*. 2019. Confederação Nacional do Transporte.
- Elefteriadou, L. *An Introduction to Traffic Flow Theory*. [S.l.]: Springer, 2016.
- FHWA. *Traffic Monitoring Guide*. Washington, D.C., 2016. U.S. Department of Transportation.

- Garber, N. J.; Hoel, L. A. *Traffic and Highway Engineering*. 4th. ed. Toronto, Canada: Cengage Learning, 2009.
- Guerra, A. L.; Barbosa, H. M.; Oliveira, L. K. de. Metodologia para determinação de matrizorigem/-destinoutilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica. *XXVII Congresso da ANPET*, p. 1–12, 2013.
- Guimarães, A. C. T. *Diagnóstico preliminar da base de dados de tráfego na malha rodoviária do Estado da Paraíba*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba – Campus II - Campina Grande - PB - Brasil, 2001. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Ciências e Tecnologia.
- Hammerslag, R.; Immers, B. H. Estimation of Trip Matrices: Shortcomings and Possibilities for Improvement. *Transportation Research Record*, 1988.
- Hensher, D. A. et al. *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*. 3rd. ed. Bingley - United Kingdom: Emerald, 2008. v. 5.
- ITE. *Traffic Engineering Handbook*. 7th. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016. Institute of Transportation Engineers.
- McGeoch, C.; Rose, G. Using base year matrix estimation adjustments to update future year OD matrices. *Road and Transport Research*, 2003.
- McShane, W. R.; Roess, R. P.; Prassas, E. S. *Traffic Engineering*. Third. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Pearson Prentice Hall, 2004.
- Mohamad, D. et al. Annual Average Daily Traffic Prediction Model for County Roads. *Transportation Research Record*, n. 1617, 1998.
- Neteler, M.; Mitasova, H. *Open Source GIS. A GRASS GIS approach*. 3rd. ed. [S.l.]: Springer, 2008.
- Nuzzolo, A.; Crisalli, U. Estimation of transit Origin/Destination matrices from traffic counts using a schedule-based approach. *Association for European Transport*, 2001.
- Oliveira Neto, F. M. d. et al. Discussão conceitual sobre métodos de reconstrução de matrizes origem-destino estáticas em redes de transportes. *Transportes*, 2016.
- Ortúzar, J. de D.; Willumsen, L. G. *Modelling Transport*. Fourth. London, UK: Wiley, 2011. 586p. ISBN 978-0-470-76039-0.
- Pérez, A. E. F. *Estimativa de matrizes Origem-Destino para veículos de carga no âmbito do estudo do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana de Rio de Janeiro (PDTU-RMRJ)*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Univerisade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- Peterson, A. *The Origin–Destination Matrix Estimation Problem — Analysis and Computations*. Dissertação (Mestrado) — Department of Science and Technology. Linköpings Universitet, Norrköping, Sweden, 2007.
- Pitombeira Neto, A. R. *Dynamic bayesian statistical models for the estimation of the origin-destination matrix*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- Pons, I.; Monteiro, J.; Speicys, R. *Big Data para análise de métricas de qualidade de transporte: metodologia e aplicação*. São Paulo - SP: [s.n.], 2015. v. 20. Volume 20.
- PTV. *PTV Visum 2021 Manual*. Karlsruhe, Germany, 2021.

Rodrigue, J.-P.; Comtois, C.; Slack, B. *The Geography of Transport Systems*. 3rd. ed. New York: Routledge, 2013.

Saw, K.; Katti, B. K.; Joshi, G. Literature Review of Traffic Assignment: Static and Dynamic. *International Journal of Transportation Engineering*, v. 2, n. 4, 2015.

TRB. *Highway Capacity Manual*. 6th. ed. Washington, DC, USA, 2016. Volume 1: Concepts.

Turner, S. M. *Guidelines for Developing ITS Data Archiving Systems*. [S.l.]: Texas Transportation Institute, 2001. Report 2127-3.

Wardrop, J. G. Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, p. 325–378, jan. 1952.

Willumsen, L. G. Simplified transport models based on traffic counts. *Transportation*, p. 257–278, 1981.

A VMDa calculado por posto de contagem do PNCT

Tabela 16: VMDa calculado para os postos de contagem do PNCT ao longo da série histórica analisada

| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
|----|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|------|-------|---------|
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 1 | AC | BR-364 | 67,0 | C | N/A | N/A | 779 | 765 | 795 | 795 |
| | | | | D | N/A | N/A | 823 | 799 | 841 | 841 |
| 2 | AL | BR-104 | 36,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2899 | 2680 | 2680 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 3125 | 3078 | 3078 |
| 3 | AL | BR-316 | 199,0 | C | 2671 | 2655 | 2592 | 2519 | 2350 | 2350 |
| | | | | D | 2751 | 2743 | 2703 | 2845 | 2777 | 2777 |
| 4 | AL | BR-423 | 75,0 | C | N/A | 1520 | 1560 | N/A | 1681 | 1681 |
| | | | | D | N/A | 1722 | 1710 | N/A | 1706 | 1706 |
| 5 | AM | BR-174 | 989,0 | C | N/A | N/A | 1022 | 891 | 988 | 988 |
| | | | | D | N/A | N/A | 1242 | 1159 | 1145 | 1145 |
| 6 | BA | BR-101 | 110,0 | C | N/A | 6616 | 6236 | 6554 | N/A | 6406 |
| | | | | D | N/A | 6351 | 6103 | 6362 | N/A | 6282 |
| 7 | BA | BR-101 | 366,0 | C | 4278 | 3131 | N/A | 1713 | 2461 | 2461 |
| | | | | D | 3893 | 2764 | N/A | 3014 | 2894 | 2894 |
| 8 | BA | BR-101 | 492,0 | C | N/A | 4024 | 3798 | N/A | N/A | 3371 |
| | | | | D | N/A | 4142 | 3653 | N/A | N/A | 2790 |
| 9 | BA | BR-101 | 814,0 | C | N/A | 2618 | 2307 | N/A | 2264 | 2264 |
| | | | | D | N/A | 2113 | 2045 | N/A | 2123 | 2123 |
| 10 | BA | BR-110 | 72,0 | C | N/A | N/A | N/A | 1526 | 1555 | 1555 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 1600 | 1640 | 1640 |
| 11 | BA | BR-116 | 153,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 658 | 658 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1025 | 1025 |
| 12 | BA | BR-116 | 278,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2516 | 2674 | 2674 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2560 | 2770 | 2770 |
| 13 | BA | BR-116 | 414,0 | C | N/A | 9942 | 11297 | N/A | 10648 | 10648 |
| | | | | D | N/A | 10116 | 11232 | N/A | 10175 | 10175 |
| 14 | BA | BR-116 | 445,0 | C | N/A | 6214 | 6565 | N/A | N/A | 7306 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-------|------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 14 | BA | BR-116 | 445,0 | D | N/A | 6524 | 6733 | N/A | N/A | 7164 |
| 15 | BA | BR-116 | 789,0 | C | N/A | 4498 | 3875 | 4237 | N/A | 3942 |
| | | | | D | N/A | 4453 | 4109 | 4292 | N/A | 4123 |
| 16 | BA | BR-135 | 339,4 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 714 | 714 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 642 | 642 |
| 17 | BA | BR-242 | 197,0 | C | N/A | 1386 | 1539 | 1624 | 1643 | 1643 |
| | | | | D | N/A | 1401 | 1510 | 1586 | 1502 | 1502 |
| 18 | BA | BR-242 | 511,0 | C | N/A | N/A | N/A | 1466 | 1503 | 1503 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 1444 | 1423 | 1423 |
| 19 | BA | BR-324 | 590,0 | C | N/A | 18364 | 16935 | 16538 | N/A | 15452 |
| | | | | D | N/A | 18220 | 16453 | 16573 | N/A | 15434 |
| 20 | BA | BR-367 | 96,1 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 7557 | 7557 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 7416 | 7416 |
| 21 | BA | BR-407 | 17,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2400 | 2448 | 2448 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2325 | 2404 | 2404 |
| 22 | BA | BR-420 | 327,1 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 688 | 688 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 690 | 690 |
| 23 | CE | BR-020 | 401,0 | C | 3592 | 3593 | 3573 | 3312 | 3350 | 3350 |
| | | | | D | 3645 | 3609 | 3561 | 3658 | 3701 | 3701 |
| 24 | CE | BR-020 | 74,0 | C | N/A | 1037 | 1011 | 896 | 946 | 946 |
| | | | | D | N/A | 1022 | 1108 | 1100 | 1120 | 1120 |
| 25 | CE | BR-116 | 318,0 | C | 1430 | 1317 | 1235 | 1244 | 1273 | 1273 |
| | | | | D | 1411 | 1316 | 1252 | 1272 | 1301 | 1301 |
| 26 | CE | BR-116 | 51,0 | C | 6219 | 6030 | 5754 | 5621 | N/A | 5388 |
| | | | | D | 6100 | 5968 | 5642 | 5518 | N/A | 5288 |
| 27 | CE | BR-222 | 183,0 | C | N/A | N/A | N/A | 1823 | 1813 | 1813 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 1902 | 1909 | 1909 |
| 28 | CE | BR-222 | 33,5 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 29 | CE | BR-226 | 220,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 866 | 866 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 857 | 857 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-------|------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 30 | CE | BR-402 | 293,8 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 1753 | 1753 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1918 | 1918 |
| 31 | DF | BR-060 | 26,0 | C | N/A | 9068 | 8546 | N/A | N/A | 7562 |
| | | | | D | N/A | 8982 | 8789 | N/A | N/A | 8411 |
| 32 | DF | BR-251 | 13,0 | C | N/A | N/A | 2457 | N/A | N/A | 2395 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2566 | N/A | N/A | 2502 |
| 33 | DF | BR-251 | 17,1 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 34 | ES | BR-101 | 191,0 | C | 4354 | 4029 | 3726 | 3792 | 3843 | 3843 |
| | | | | D | 4686 | 4248 | 3914 | 3981 | 4013 | 4013 |
| 35 | ES | BR-101 | 250,0 | C | 9616 | 9038 | 8666 | 8961 | N/A | 8485 |
| | | | | D | 9948 | 9248 | 8768 | 9051 | N/A | 8460 |
| 36 | ES | BR-101 | 323,0 | C | N/A | N/A | N/A | 5174 | 5703 | 5703 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 5320 | 5861 | 5861 |
| 37 | ES | BR-101 | 59,0 | C | 4393 | 4210 | 3890 | 3846 | N/A | 3594 |
| | | | | D | 4597 | 4296 | 3975 | 3938 | N/A | 3627 |
| 38 | ES | BR-259 | 16,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2977 | 2453 | 2453 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 3352 | 2728 | 2728 |
| 39 | ES | BR-262 | 20,0 | C | 6802 | 6486 | 6601 | 6734 | N/A | 6633 |
| | | | | D | 7269 | 6771 | 6579 | 6196 | N/A | 5850 |
| 40 | ES | BR-342 | 117,8 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 41 | ES | BR-482 | 75,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2544 | 2413 | 2413 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2744 | 2605 | 2605 |
| 42 | GO | BR-020 | 13,0 | C | N/A | 4519 | 4308 | 4273 | N/A | 4120 |
| | | | | D | N/A | 4507 | 4265 | 4292 | N/A | 4139 |
| 43 | GO | BR-040 | 10,0 | C | N/A | 20849 | 21365 | 22045 | N/A | 22615 |
| | | | | D | N/A | 20360 | 20306 | 21278 | N/A | 21565 |
| 44 | GO | BR-050 | 146,0 | C | N/A | 1680 | N/A | N/A | N/A | 1617 |
| | | | | D | N/A | 1861 | N/A | N/A | N/A | 1791 |
| 45 | GO | BR-060 | 110,0 | C | N/A | 13000 | 11514 | 13744 | N/A | 13496 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-------|------|---------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 45 | GO | BR-060 | 110,0 | D | N/A | 15448 | 15000 | 15018 | N/A | 14725 |
| 46 | GO | BR-060 | 204,0 | C | N/A | 4986 | 4654 | 5064 | 5127 | 5127 |
| | | | | D | N/A | 4778 | 4877 | 4884 | 4909 | 4909 |
| 47 | GO | BR-060 | 21,0 | C | N/A | 10468 | 9684 | 9222 | 9485 | 9485 |
| | | | | D | N/A | 10519 | 9450 | 9485 | 9410 | 9410 |
| 48 | GO | BR-060 | 418,0 | C | N/A | 2921 | 2635 | 2647 | 2653 | 2653 |
| | | | | D | N/A | 3416 | 2803 | 2952 | 2984 | 2984 |
| 49 | GO | BR-070 | 168,0 | C | N/A | 660 | 809 | 766 | 802 | 802 |
| | | | | D | N/A | 755 | 766 | 754 | 789 | 789 |
| 50 | GO | BR-070 | 18,0 | C | N/A | 2887 | 2576 | 2656 | 2608 | 2608 |
| | | | | D | N/A | 2846 | 2629 | 2603 | 2629 | 2629 |
| 51 | GO | BR-080 | 125,0 | C | N/A | 1234 | 1101 | N/A | N/A | 863 |
| | | | | D | N/A | 1265 | 1294 | N/A | N/A | 1353 |
| 52 | GO | BR-080 | 180,0 | C | N/A | N/A | 1162 | N/A | 1283 | 1283 |
| | | | | D | N/A | N/A | 801 | N/A | 1248 | 1248 |
| 53 | GO | BR-080 | 27,0 | C | N/A | 1321 | 1323 | 1346 | 1409 | 1409 |
| | | | | D | N/A | 1375 | 1391 | 1415 | 1447 | 1447 |
| 54 | GO | BR-153 | 251,0 | C | N/A | 2545 | 2056 | N/A | N/A | 1265 |
| | | | | D | N/A | 2751 | 2457 | N/A | N/A | 1931 |
| 55 | GO | BR-153 | 274,7 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 2333 | 2333 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 2459 | 2459 |
| 56 | GO | BR-153 | 372,0 | C | N/A | 4778 | 4322 | 4475 | N/A | 4222 |
| | | | | D | N/A | 4965 | 4443 | 4575 | N/A | 4271 |
| 57 | GO | BR-153 | 636,0 | C | N/A | 4588 | 4651 | 4590 | N/A | 4611 |
| | | | | D | N/A | 4806 | 4845 | 4959 | N/A | 5022 |
| 58 | GO | BR-153 | 699,0 | C | N/A | 7521 | 6698 | 6426 | 7977 | 7977 |
| | | | | D | N/A | 6785 | 5692 | 5806 | 6688 | 6688 |
| 59 | GO | BR-153 | 71,0 | C | N/A | N/A | 2177 | 2275 | N/A | 2377 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2136 | 2294 | N/A | 2463 |
| 60 | GO | BR-158 | 147,0 | C | N/A | 750 | 716 | 882 | 791 | 791 |
| | | | | D | N/A | 414 | 391 | 734 | 720 | 720 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 61 | GO | BR-364 | 57,0 | C | N/A | 977 | 985 | 1020 | N/A | 1037 |
| | | | | D | N/A | 918 | 942 | 978 | N/A | 1005 |
| 62 | GO | BR-452 | 196,3 | C | N/A | 2577 | 2145 | 2040 | N/A | 1717 |
| | | | | D | N/A | 2268 | 1886 | 2045 | N/A | 1843 |
| 63 | MA | BR-010 | 259,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 5261 | 5261 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 5034 | 5034 |
| 64 | MA | BR-135 | 437,7 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 65 | MA | BR-135 | 74,0 | C | 6200 | 5864 | 4961 | N/A | N/A | 3816 |
| | | | | D | 5516 | 5472 | 4579 | N/A | N/A | 3783 |
| 66 | MA | BR-222 | 302,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 67 | MA | BR-222 | 370,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 68 | MA | BR-226 | 413,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2067 | N/A | 2041 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2044 | N/A | 2018 |
| 69 | MA | BR-230 | 312,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 70 | MG | BR-040 | 145,0 | C | 2389 | 2225 | 1958 | 2049 | 1887 | 1887 |
| | | | | D | 2209 | 2158 | 1877 | 1973 | 1888 | 1888 |
| 71 | MG | BR-040 | 419,0 | C | 3412 | 3218 | 2967 | 2966 | N/A | 2743 |
| | | | | D | 3312 | 3254 | 2978 | 2996 | N/A | 2829 |
| 72 | MG | BR-040 | 500,0 | C | 14144 | 13910 | 13029 | 12449 | 12680 | 12680 |
| | | | | D | 14747 | 14103 | 13237 | 13042 | 12917 | 12917 |
| 73 | MG | BR-040 | 551,0 | C | 28834 | N/A | N/A | 29241 | N/A | 29653 |
| | | | | D | 29284 | N/A | N/A | 28752 | N/A | 28229 |
| 74 | MG | BR-040 | 579,0 | C | 9537 | 9024 | 8454 | N/A | N/A | 7380 |
| | | | | D | 9505 | 8863 | 8630 | N/A | N/A | 7686 |
| 75 | MG | BR-040 | 707,0 | C | 7970 | 7189 | 6818 | 6730 | N/A | 6153 |
| | | | | D | 7537 | 7206 | 6840 | 6700 | N/A | 6351 |
| 76 | MG | BR-040 | 780,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|------|------|------|------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 76 | MG | BR-040 | 780,0 | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 77 | MG | BR-050 | 105,0 | C | 5895 | 5841 | 5706 | 5648 | N/A | 5553 |
| | | | | D | 6153 | 5879 | 5836 | 5720 | N/A | 5561 |
| 78 | MG | BR-050 | 154,0 | C | 6446 | 6394 | 6181 | 6225 | N/A | 6092 |
| | | | | D | 6567 | 6549 | 6295 | 6385 | N/A | 6248 |
| 79 | MG | BR-050 | 180,0 | C | 9058 | 8460 | N/A | N/A | 8637 | 8637 |
| | | | | D | 9864 | 8878 | N/A | N/A | 8986 | 8986 |
| 80 | MG | BR-050 | 61,0 | C | 9291 | 8803 | 8505 | 8496 | 8464 | 8464 |
| | | | | D | 9393 | 8913 | 8617 | 8597 | 8488 | 8488 |
| 81 | MG | BR-116 | 272,0 | C | 4135 | 3967 | 3828 | N/A | 3610 | 3610 |
| | | | | D | 4159 | 3776 | 3521 | N/A | 2992 | 2992 |
| 82 | MG | BR-116 | 280,0 | C | 4991 | 4835 | 4809 | 4794 | N/A | 4702 |
| | | | | D | 4737 | 4413 | 4215 | 4290 | N/A | 4028 |
| 83 | MG | BR-116 | 560,0 | C | N/A | N/A | 2866 | N/A | N/A | 2794 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2644 | N/A | N/A | 2578 |
| 84 | MG | BR-116 | 613,0 | C | 2439 | 2459 | N/A | N/A | 2214 | 2214 |
| | | | | D | 2568 | 2654 | N/A | N/A | 2518 | 2518 |
| 85 | MG | BR-116 | 808,0 | C | N/A | 3177 | 3122 | 2970 | N/A | 2882 |
| | | | | D | N/A | 3377 | 3249 | 3123 | N/A | 2995 |
| 86 | MG | BR-122 | 266,0 | C | 5355 | 4831 | 4257 | N/A | N/A | 3167 |
| | | | | D | 5672 | 5395 | 5270 | N/A | N/A | 4842 |
| 87 | MG | BR-135 | 341,0 | C | N/A | N/A | 2274 | N/A | 2097 | 2097 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2304 | N/A | 2151 | 2151 |
| 88 | MG | BR-135 | 542,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 3105 | 3105 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 2955 | 2955 |
| 89 | MG | BR-135 | 626,0 | C | N/A | N/A | N/A | 4848 | 4810 | 4810 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 5143 | 4823 | 4823 |
| 90 | MG | BR-153 | 118,0 | C | N/A | 3308 | 3214 | N/A | 3162 | 3162 |
| | | | | D | N/A | 3748 | 3712 | N/A | 3697 | 3697 |
| 91 | MG | BR-153 | 185,0 | C | 3326 | 3088 | 2906 | 2798 | 2760 | 2760 |
| | | | | D | 3407 | 3154 | 2930 | 2743 | 2605 | 2605 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 92 | MG | BR-153 | 38,0 | C | N/A | 6316 | 6022 | 6141 | 5959 | 5959 |
| | | | | D | N/A | 5902 | 5650 | 5860 | 6010 | 6010 |
| 93 | MG | BR-262 | 117,0 | C | 3664 | 3712 | 3603 | 3715 | 3555 | 3555 |
| | | | | D | 4018 | 3922 | 3751 | 3770 | 3582 | 3582 |
| 94 | MG | BR-262 | 331,0 | C | 54986 | 52183 | 57999 | 58218 | 56615 | 56615 |
| | | | | D | 63682 | 60019 | 62040 | 64425 | 59179 | 59179 |
| 95 | MG | BR-262 | 475,0 | C | 55137 | N/A | N/A | N/A | 52209 | 52209 |
| | | | | D | 62995 | N/A | N/A | N/A | 60229 | 60229 |
| 96 | MG | BR-262 | 573,0 | C | N/A | 3256 | 3389 | 3396 | 3436 | 3436 |
| | | | | D | N/A | 3409 | 3563 | 3604 | 3639 | 3639 |
| 97 | MG | BR-262 | 627,0 | C | 2711 | 2580 | 2546 | 2636 | 2442 | 2442 |
| | | | | D | 2641 | 2515 | 2548 | 2642 | 2586 | 2586 |
| 98 | MG | BR-262 | 740,0 | C | 1936 | 1913 | N/A | N/A | 1638 | 1638 |
| | | | | D | 1921 | 1855 | N/A | N/A | 1902 | 1902 |
| 99 | MG | BR-265 | 311,0 | C | N/A | 2003 | 1868 | 1822 | 1592 | 1592 |
| | | | | D | N/A | 2150 | 1619 | 1660 | 1949 | 1949 |
| 100 | MG | BR-267 | 10,8 | C | N/A | N/A | N/A | 2085 | N/A | 2059 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2046 | N/A | 2020 |
| 101 | MG | BR-267 | 298,0 | C | N/A | N/A | 2069 | N/A | N/A | 2017 |
| | | | | D | N/A | N/A | 1957 | N/A | N/A | 1908 |
| 102 | MG | BR-354 | 288,2 | C | N/A | N/A | N/A | 2347 | 2255 | 2255 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2439 | 2357 | 2357 |
| 103 | MG | BR-354 | 555,0 | C | N/A | 2860 | 2654 | 2460 | 2436 | 2436 |
| | | | | D | N/A | 2734 | 2659 | 2484 | 2140 | 2140 |
| 104 | MG | BR-354 | 724,0 | C | N/A | N/A | 1245 | 1369 | 1361 | 1361 |
| | | | | D | N/A | N/A | 1285 | 1384 | 1390 | 1390 |
| 105 | MG | BR-354 | 734,0 | C | N/A | 2978 | 2912 | 3073 | 3179 | 3179 |
| | | | | D | N/A | 3182 | 2975 | 3141 | 3283 | 3283 |
| 106 | MG | BR-356 | 35,0 | C | N/A | 5809 | 5613 | 5848 | 5894 | 5894 |
| | | | | D | N/A | 5786 | 5680 | 5817 | 5582 | 5582 |
| 107 | MG | BR-365 | 112,0 | C | N/A | 1512 | 1496 | 1661 | 1458 | 1458 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 107 | MG | BR-365 | 112,0 | D | N/A | 1607 | 1537 | 1483 | 1500 | 1500 |
| 108 | MG | BR-365 | 171,5 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 109 | MG | BR-365 | 275,0 | C | N/A | 1230 | N/A | N/A | N/A | 1184 |
| | | | | D | N/A | 1715 | N/A | N/A | N/A | 1651 |
| 110 | MG | BR-365 | 302,0 | C | N/A | 1182 | 1178 | N/A | 1184 | 1184 |
| | | | | D | N/A | 1349 | 1291 | N/A | 1346 | 1346 |
| 111 | MG | BR-365 | 481,0 | C | 3499 | 3535 | 3765 | 3610 | 3703 | 3703 |
| | | | | D | 3880 | 3784 | 3775 | 3740 | 3883 | 3883 |
| 112 | MG | BR-365 | 676,0 | C | 5270 | N/A | N/A | N/A | N/A | 5007 |
| | | | | D | 5408 | N/A | N/A | N/A | N/A | 5138 |
| 113 | MG | BR-365 | 714,0 | C | 2165 | 2036 | 2055 | 2174 | N/A | 2118 |
| | | | | D | 2152 | 2242 | 2278 | 2326 | N/A | 2388 |
| 114 | MG | BR-381 | 163,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 4287 | 4287 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 4425 | 4425 |
| 115 | MG | BR-381 | 266,0 | C | 4263 | 4443 | 4203 | N/A | 3785 | 3785 |
| | | | | D | 4639 | 4723 | 4479 | N/A | 4488 | 4488 |
| 116 | MG | BR-381 | 443,0 | C | 11279 | 11134 | 10531 | 10377 | N/A | 10002 |
| | | | | D | 12815 | 11632 | 11194 | 10822 | N/A | 10011 |
| 117 | MG | BR-381 | 511,0 | C | 15680 | 15024 | 15114 | 15705 | N/A | 15421 |
| | | | | D | 15600 | 14882 | 14874 | 15641 | N/A | 15277 |
| 118 | MG | BR-381 | 668,0 | C | 8068 | 7990 | 7812 | 8139 | 8372 | 8372 |
| | | | | D | 8686 | 8086 | 7809 | 8046 | 8073 | 8073 |
| 119 | MG | BR-381 | 751,0 | C | 9515 | 9337 | 9132 | 9389 | N/A | 9197 |
| | | | | D | 10249 | 9319 | 8970 | 9055 | N/A | 8415 |
| 120 | MG | BR-381 | 822,0 | C | 10904 | 10641 | 10378 | N/A | N/A | 9851 |
| | | | | D | 11740 | 10536 | 10136 | N/A | N/A | 8398 |
| 121 | MG | BR-383 | 35,0 | C | N/A | 1606 | 1617 | 1663 | N/A | 1685 |
| | | | | D | N/A | 1638 | 1635 | 1659 | N/A | 1664 |
| 122 | MG | BR-452 | 216,0 | C | N/A | 2405 | 2372 | 2365 | N/A | 2340 |
| | | | | D | N/A | 2466 | 2423 | 2445 | N/A | 2423 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|------|------|------|------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 123 | MG | BR-460 | 78,0 | C | N/A | N/A | 1978 | N/A | N/A | 1928 |
| | | | | D | N/A | N/A | 1971 | N/A | N/A | 1921 |
| 124 | MG | BR-494 | 42,0 | C | N/A | 2986 | 2937 | 3107 | N/A | 3131 |
| | | | | D | N/A | 2984 | 2907 | 2770 | N/A | 2672 |
| 125 | MG | BR-496 | 47,0 | C | N/A | 1015 | 994 | N/A | 1004 | 1004 |
| | | | | D | N/A | 1012 | 988 | N/A | 1014 | 1014 |
| 126 | MG | BR-497 | 76,0 | C | N/A | 1932 | N/A | N/A | N/A | 1859 |
| | | | | D | N/A | 2103 | N/A | N/A | N/A | 2024 |
| 127 | MS | BR-060 | 435,0 | C | N/A | 954 | 970 | 998 | 1023 | 1023 |
| | | | | D | N/A | 951 | 938 | 996 | 942 | 942 |
| 128 | MS | BR-158 | 194,0 | C | N/A | N/A | 559 | 559 | N/A | 559 |
| | | | | D | N/A | N/A | 559 | 527 | N/A | 496 |
| 129 | MS | BR-163 | 252,0 | C | N/A | 3285 | N/A | 3500 | 3638 | 3638 |
| | | | | D | N/A | 3129 | N/A | 3204 | 3824 | 3824 |
| 130 | MS | BR-163 | 345,0 | C | N/A | 2261 | 2362 | 2477 | N/A | 2582 |
| | | | | D | N/A | 2507 | 2546 | 2561 | N/A | 2592 |
| 131 | MS | BR-163 | 422,0 | C | N/A | 3547 | 3227 | 3223 | N/A | 3008 |
| | | | | D | N/A | 3418 | 3273 | 3077 | N/A | 2914 |
| 132 | MS | BR-163 | 537,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 133 | MS | BR-163 | 598,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 134 | MS | BR-163 | 788,0 | C | N/A | 1434 | 1515 | 1480 | 1409 | 1409 |
| | | | | D | N/A | 1438 | 1367 | 1225 | 1363 | 1363 |
| 135 | MS | BR-262 | 15,0 | C | N/A | 1813 | 1854 | 1861 | 1795 | 1795 |
| | | | | D | N/A | 1837 | 1862 | 1823 | 1645 | 1645 |
| 136 | MS | BR-262 | 386,0 | C | N/A | 2383 | 1954 | 1870 | 2279 | 2279 |
| | | | | D | N/A | 2316 | 2185 | 2302 | 2303 | 2303 |
| 137 | MS | BR-262 | 561,0 | C | N/A | 926 | 883 | 929 | N/A | 915 |
| | | | | D | N/A | 925 | 893 | 947 | N/A | 943 |
| 138 | MS | BR-267 | 34,0 | C | N/A | 1917 | 1980 | 1677 | N/A | 1617 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|------|------|------|------|---------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 138 | MS | BR-267 | 34,0 | D | N/A | 2016 | 2006 | 1922 | N/A | 1887 |
| 139 | MS | BR-267 | 469,0 | C | N/A | 471 | 607 | 599 | N/A | 686 |
| | | | | D | N/A | 473 | 628 | 623 | N/A | 724 |
| 140 | MS | BR-376 | 5,0 | C | N/A | 2136 | 2227 | 2070 | 2296 | 2296 |
| | | | | D | N/A | 2092 | 2175 | 2087 | 2215 | 2215 |
| 141 | MT | BR-070 | 375,0 | C | N/A | N/A | 2727 | 2866 | 2995 | 2995 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2673 | 2752 | 2914 | 2914 |
| 142 | MT | BR-070 | 546,0 | C | N/A | 1090 | 1316 | 1403 | 2017 | 2017 |
| | | | | D | N/A | 1348 | 1823 | 1900 | 1812 | 1812 |
| 143 | MT | BR-158 | 698,0 | C | N/A | 877 | 939 | 1030 | 1020 | 1020 |
| | | | | D | N/A | 910 | 943 | 1016 | 1011 | 1011 |
| 144 | MT | BR-163 | 116,0 | C | N/A | N/A | 4466 | 4501 | 4947 | 4947 |
| | | | | D | N/A | N/A | 4395 | 4491 | 5052 | 5052 |
| 145 | MT | BR-163 | 715,0 | C | N/A | 2455 | 2544 | 2675 | 2843 | 2843 |
| | | | | D | N/A | 2467 | 2508 | 2733 | 2930 | 2930 |
| 146 | MT | BR-174 | 100,0 | C | N/A | 1865 | 1828 | 1835 | 1913 | 1913 |
| | | | | D | N/A | 1720 | 1670 | 1617 | 1694 | 1694 |
| 147 | MT | BR-364 | 191,0 | C | N/A | N/A | 2358 | 2806 | 3017 | 3017 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2738 | 2965 | 3052 | 3052 |
| 148 | MT | BR-364 | 216,0 | C | N/A | N/A | 4617 | N/A | N/A | 4502 |
| | | | | D | N/A | N/A | 4521 | N/A | N/A | 4408 |
| 149 | MT | BR-364 | 594,0 | C | N/A | 1334 | 1202 | 1232 | 1255 | 1255 |
| | | | | D | N/A | 1382 | 1210 | 1271 | 1288 | 1288 |
| 150 | MT | BR-364 | 991,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 456 | 456 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 465 | 465 |
| 151 | PA | BR-010 | 155,0 | C | N/A | N/A | 1046 | N/A | 1172 | 1172 |
| | | | | D | N/A | N/A | 1012 | N/A | 1146 | 1146 |
| 152 | PA | BR-010 | 232,0 | C | N/A | 1469 | 1338 | 1385 | N/A | 1313 |
| | | | | D | N/A | 1483 | 1392 | 1458 | N/A | 1419 |
| 153 | PA | BR-155 | 336,0 | C | N/A | 1834 | 1706 | 1794 | 1925 | 1925 |
| | | | | D | N/A | 1775 | 1675 | 1740 | 1860 | 1860 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|------|------|------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 154 | PA | BR-163 | 629,3 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 155 | PA | BR-163 | 964,0 | C | N/A | 581 | 562 | 589 | 653 | 653 |
| | | | | D | N/A | 632 | 588 | 610 | 665 | 665 |
| 156 | PA | BR-163 | 98,0 | C | N/A | N/A | 491 | N/A | N/A | 478 |
| | | | | D | N/A | N/A | 519 | N/A | N/A | 506 |
| 157 | PA | BR-222 | 19,0 | C | N/A | 985 | 811 | 826 | 846 | 846 |
| | | | | D | N/A | 918 | 769 | 772 | 785 | 785 |
| 158 | PA | BR-316 | 248,0 | C | N/A | N/A | 866 | 883 | 940 | 940 |
| | | | | D | N/A | N/A | 878 | 895 | 955 | 955 |
| 159 | PA | BR-316 | 95,0 | C | N/A | 4986 | 4555 | 4839 | N/A | 4646 |
| | | | | D | N/A | 5228 | 4915 | 4527 | N/A | 4188 |
| 160 | PB | BR-101 | 101,0 | C | 10297 | 10076 | 9402 | N/A | N/A | 8582 |
| | | | | D | 10498 | 10147 | 9630 | N/A | N/A | 8789 |
| 161 | PB | BR-101 | 76,0 | C | 8566 | 8753 | 8506 | 8571 | 8641 | 8641 |
| | | | | D | 8938 | 9013 | 8729 | 8802 | 8917 | 8917 |
| 162 | PB | BR-104 | 136,7 | C | N/A | N/A | N/A | 7246 | 6844 | 6844 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 7320 | 6979 | 6979 |
| 163 | PB | BR-230 | 161,0 | C | 5299 | 4985 | 4789 | 5002 | N/A | 4747 |
| | | | | D | 5536 | 5060 | 4850 | 5082 | N/A | 4738 |
| 164 | PB | BR-230 | 294,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 2001 | 2001 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1861 | 1861 |
| 165 | PB | BR-230 | 510,0 | C | 2617 | 2529 | 2453 | 2474 | 2392 | 2392 |
| | | | | D | 2509 | 2396 | 2321 | 2349 | 2235 | 2235 |
| 166 | PB | BR-412 | 66,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 1043 | 1043 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1072 | 1072 |
| 167 | PE | BR-101 | 140,0 | C | 5170 | 5001 | 5062 | N/A | 4985 | 4985 |
| | | | | D | 5243 | 5054 | 5105 | N/A | 5029 | 5029 |
| 168 | PE | BR-116 | 31,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2316 | 2247 | 2247 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2127 | 2050 | 2050 |
| 169 | PE | BR-122 | 149,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 169 | PE | BR-122 | 149,0 | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 170 | PE | BR-232 | 128,0 | C | N/A | 14514 | 14427 | 15385 | 16105 | 16105 |
| | | | | D | N/A | 12477 | 12371 | 13002 | 13653 | 13653 |
| 171 | PE | BR-232 | 258,0 | C | N/A | 3342 | 3283 | 3329 | 3316 | 3316 |
| | | | | D | N/A | 3267 | 3245 | 3351 | 3395 | 3395 |
| 172 | PE | BR-232 | 506,0 | C | N/A | 2111 | 1872 | 1903 | 1902 | 1902 |
| | | | | D | N/A | 2075 | 1883 | 1835 | 1801 | 1801 |
| 173 | PE | BR-316 | 26,3 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 3195 | 3195 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 3144 | 3144 |
| 174 | PE | BR-316 | 362,0 | C | N/A | 999 | 911 | 851 | 834 | 834 |
| | | | | D | N/A | 1024 | 923 | 863 | 863 | 863 |
| 175 | PE | BR-408 | 102,0 | C | 12563 | 12711 | 12897 | 14230 | 14628 | 14628 |
| | | | | D | 13654 | 14201 | 14415 | 15337 | 15933 | 15933 |
| 176 | PE | BR-423 | 161,0 | C | N/A | 1341 | 1371 | 1401 | 1369 | 1369 |
| | | | | D | N/A | 1457 | 1443 | 1493 | 1421 | 1421 |
| 177 | PE | BR-423 | 36,0 | C | N/A | 3458 | 3234 | 3448 | 3511 | 3511 |
| | | | | D | N/A | 3751 | 3583 | 3774 | 3808 | 3808 |
| 178 | PE | BR-428 | 179,0 | C | N/A | 4533 | 4570 | 4690 | 4658 | 4658 |
| | | | | D | N/A | 4523 | 4432 | 4581 | 4617 | 4617 |
| 179 | PI | BR-135 | 591,0 | C | 1117 | 1078 | N/A | N/A | 1099 | 1099 |
| | | | | D | 1122 | 1079 | N/A | N/A | 1122 | 1122 |
| 180 | PI | BR-230 | 201,0 | C | N/A | N/A | N/A | 1026 | 1043 | 1043 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 1117 | 1137 | 1137 |
| 181 | PI | BR-316 | 215,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 1278 | 1278 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1407 | 1407 |
| 182 | PI | BR-343 | 178,0 | C | 1619 | 1589 | 1694 | N/A | N/A | 1746 |
| | | | | D | 1710 | 1665 | 1626 | N/A | N/A | 1540 |
| 183 | PI | BR-343 | 210,0 | C | 2057 | 2074 | N/A | N/A | 2121 | 2121 |
| | | | | D | 2085 | 2067 | N/A | N/A | 2053 | 2053 |
| 184 | PI | BR-343 | 653,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 633 | 633 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 649 | 649 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 185 | PI | BR-407 | 426,0 | C | 3151 | 3085 | 3064 | 3062 | N/A | 3018 |
| | | | | D | 3110 | 2994 | 2450 | 2256 | N/A | 1926 |
| 186 | PR | BR-116 | 124,0 | C | N/A | 24845 | 25255 | N/A | 28058 | 28058 |
| | | | | D | N/A | 24667 | 27534 | N/A | 28571 | 28571 |
| 187 | PR | BR-116 | 22,0 | C | N/A | N/A | 9221 | N/A | N/A | 8991 |
| | | | | D | N/A | N/A | 9587 | N/A | N/A | 9348 |
| 188 | PR | BR-116 | 88,0 | C | N/A | 16346 | 16400 | N/A | 16902 | 16902 |
| | | | | D | N/A | 14273 | 15200 | N/A | 15879 | 15879 |
| 189 | PR | BR-153 | 309,0 | C | N/A | 896 | 971 | 1009 | N/A | 1071 |
| | | | | D | N/A | 940 | 984 | 1030 | N/A | 1074 |
| 190 | PR | BR-153 | 44,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 4971 | 4971 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 5374 | 5374 |
| 191 | PR | BR-153 | 473,0 | C | N/A | 3340 | 3507 | N/A | 3409 | 3409 |
| | | | | D | N/A | 3360 | 3680 | N/A | 3675 | 3675 |
| 192 | PR | BR-163 | 181,0 | C | N/A | 4003 | 4046 | 4029 | N/A | 4052 |
| | | | | D | N/A | 4154 | 4117 | 3954 | N/A | 3875 |
| 193 | PR | BR-163 | 181,4 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 194 | PR | BR-163 | 253,7 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 4354 | 4354 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 4366 | 4366 |
| 195 | PR | BR-272 | 561,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2338 | 2254 | 2254 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2312 | 2243 | 2243 |
| 196 | PR | BR-277 | 12,0 | C | N/A | 9663 | 9526 | 9935 | N/A | 9979 |
| | | | | D | N/A | 9747 | 9216 | 11040 | N/A | 11293 |
| 197 | PR | BR-277 | 135,0 | C | N/A | N/A | 13506 | N/A | 13249 | 13249 |
| | | | | D | N/A | N/A | 13366 | N/A | 13841 | 13841 |
| 198 | PR | BR-277 | 209,0 | C | N/A | N/A | 3029 | 3421 | 3359 | 3359 |
| | | | | D | N/A | N/A | 3208 | 3558 | 3581 | 3581 |
| 199 | PR | BR-277 | 348,0 | C | N/A | 6799 | 7211 | 6978 | 7270 | 7270 |
| | | | | D | N/A | 5157 | 6841 | 5561 | 6847 | 6847 |
| 200 | PR | BR-277 | 470,0 | C | N/A | 2969 | 3016 | N/A | N/A | 3111 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 200 | PR | BR-277 | 470,0 | D | N/A | 2553 | 2584 | N/A | N/A | 2646 |
| 201 | PR | BR-277 | 598,0 | C | N/A | 8652 | 8392 | N/A | 9282 | 9282 |
| | | | | D | N/A | 8643 | 8685 | N/A | 9348 | 9348 |
| 202 | PR | BR-369 | 21,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2453 | 2470 | 2470 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2385 | 2400 | 2400 |
| 203 | PR | BR-369 | 374,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 2252 | 2252 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 2459 | 2459 |
| 204 | PR | BR-369 | 471,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2364 | 2477 | 2477 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2709 | 2810 | 2810 |
| 205 | PR | BR-373 | 195,0 | C | N/A | 3012 | 2928 | 2967 | N/A | 2924 |
| | | | | D | N/A | 2863 | 2765 | 2238 | N/A | 1997 |
| 206 | PR | BR-373 | 403,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2180 | 2179 | 2179 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2218 | 2262 | 2262 |
| 207 | PR | BR-376 | 159,0 | C | N/A | 11895 | 12029 | 12394 | 11807 | 11807 |
| | | | | D | N/A | 11809 | 12145 | 12477 | 11945 | 11945 |
| 208 | PR | BR-376 | 288,0 | C | N/A | 3006 | 3037 | 3013 | 4429 | 4429 |
| | | | | D | N/A | 3007 | 2995 | 2956 | 4071 | 4071 |
| 209 | PR | BR-376 | 455,0 | C | N/A | 4603 | 4520 | N/A | 5554 | 5554 |
| | | | | D | N/A | 4453 | 4510 | N/A | 6020 | 6020 |
| 210 | PR | BR-376 | 550,0 | C | N/A | 11076 | 9932 | N/A | N/A | 7880 |
| | | | | D | N/A | 11208 | 10072 | N/A | N/A | 8030 |
| 211 | PR | BR-376 | 662,0 | C | N/A | 16843 | 14708 | N/A | N/A | 10979 |
| | | | | D | N/A | 15372 | 14514 | N/A | N/A | 12893 |
| 212 | PR | BR-476 | 265,0 | C | N/A | N/A | 2821 | 2881 | 2650 | 2650 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2733 | 2731 | 2510 | 2510 |
| 213 | PR | BR-487 | 121,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 1034 | 1034 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1008 | 1008 |
| 214 | RJ | BR-040 | 107,4 | C | N/A | N/A | N/A | 27529 | 27461 | 27461 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 32282 | 34092 | 34092 |
| 215 | RJ | BR-040 | 33,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 216 | RJ | BR-040 | 4,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 217 | RJ | BR-101 | 142,5 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 218 | RJ | BR-101 | 29,0 | C | N/A | 3466 | 3156 | 3086 | N/A | 2856 |
| | | | | D | N/A | 3270 | 2966 | 2710 | N/A | 2422 |
| 219 | RJ | BR-101 | 314,0 | C | N/A | 38378 | 37681 | N/A | N/A | 36312 |
| | | | | D | N/A | 45968 | 45215 | N/A | N/A | 43733 |
| 220 | RJ | BR-101 | 401,0 | C | 14567 | 13425 | 12968 | N/A | 12967 | 12967 |
| | | | | D | 14716 | 13726 | 12962 | N/A | 13157 | 13157 |
| 221 | RJ | BR-101 | 535,0 | C | 2832 | 2386 | 2553 | 2770 | 2706 | 2706 |
| | | | | D | 2805 | 2394 | 2587 | 2780 | 2724 | 2724 |
| 222 | RJ | BR-101 | 77,0 | C | N/A | 7416 | 6964 | 7243 | 7037 | 7037 |
| | | | | D | N/A | 7978 | 7432 | 7429 | 7099 | 7099 |
| 223 | RJ | BR-116 | 1,0 | C | N/A | 6821 | 6398 | 6624 | 6058 | 6058 |
| | | | | D | N/A | 7261 | 6463 | 5493 | 6236 | 6236 |
| 224 | RJ | BR-116 | 109,0 | C | N/A | 10849 | N/A | N/A | 9591 | 9591 |
| | | | | D | N/A | 11884 | N/A | N/A | 7742 | 7742 |
| 225 | RJ | BR-116 | 128,0 | C | N/A | 21401 | N/A | N/A | N/A | 20602 |
| | | | | D | N/A | 17011 | N/A | N/A | N/A | 16376 |
| 226 | RJ | BR-116 | 254,0 | C | 15163 | 15839 | 14504 | N/A | N/A | 14180 |
| | | | | D | 15793 | 15403 | 14418 | N/A | N/A | 13142 |
| 227 | RJ | BR-116 | 306,0 | C | N/A | 18245 | 17239 | 17472 | N/A | 16879 |
| | | | | D | N/A | 19021 | 17975 | 17765 | N/A | 16997 |
| 228 | RJ | BR-356 | 14,0 | C | N/A | 2877 | 2974 | 2922 | 2893 | 2893 |
| | | | | D | N/A | 2591 | 2892 | 2869 | 2784 | 2784 |
| 229 | RJ | BR-393 | 158,0 | C | N/A | 2873 | 2811 | 2935 | 2962 | 2962 |
| | | | | D | N/A | 2899 | 2812 | 2953 | 3028 | 3028 |
| 230 | RJ | BR-393 | 248,0 | C | N/A | 4451 | 4387 | N/A | N/A | 4260 |
| | | | | D | N/A | 3826 | 3591 | N/A | N/A | 3149 |
| 231 | RN | BR-101 | 115,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 13790 | 13790 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 231 | RN | BR-101 | 115,0 | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 13830 | 13830 |
| 232 | RN | BR-110 | 29,0 | C | 1954 | 1965 | 1750 | 1712 | N/A | 1610 |
| | | | | D | 1937 | 1941 | 1735 | 1701 | N/A | 1600 |
| 233 | RN | BR-226 | 33,0 | C | 3825 | 3882 | 3754 | 3454 | 3523 | 3523 |
| | | | | D | 4221 | 4278 | 4158 | 3879 | 3860 | 3860 |
| 234 | RN | BR-304 | 278,0 | C | 3404 | 3249 | 2962 | 2959 | 2984 | 2984 |
| | | | | D | 3613 | 3425 | 3187 | 3096 | 3119 | 3119 |
| 235 | RN | BR-405 | 106,0 | C | 1368 | 1384 | 1450 | 1535 | N/A | 1575 |
| | | | | D | 1274 | 1286 | 1358 | 1408 | N/A | 1449 |
| 236 | RN | BR-406 | 67,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 1152 | 1152 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1159 | 1159 |
| 237 | RO | BR-364 | 204,0 | C | N/A | N/A | 2301 | 2523 | 2616 | 2616 |
| | | | | D | N/A | N/A | 2321 | 2519 | 2532 | 2532 |
| 238 | RO | BR-364 | 348,0 | C | N/A | N/A | 2981 | 3779 | 3144 | 3144 |
| | | | | D | N/A | N/A | 3216 | 3130 | 2836 | 2836 |
| 239 | RO | BR-364 | 736,0 | C | N/A | N/A | 1209 | 1333 | 1416 | 1416 |
| | | | | D | N/A | N/A | 1372 | 992 | 1167 | 1167 |
| 240 | RR | BR-174 | 457,0 | C | N/A | N/A | 1106 | 1132 | 1117 | 1117 |
| | | | | D | N/A | N/A | 1124 | 1180 | 1162 | 1162 |
| 241 | RS | BR-101 | 40,0 | C | N/A | 8675 | 9005 | N/A | 10431 | 10431 |
| | | | | D | N/A | 8755 | 9400 | N/A | 9632 | 9632 |
| 242 | RS | BR-116 | 246,0 | C | N/A | 50968 | 41725 | 61551 | 54408 | 54408 |
| | | | | D | N/A | 49419 | 41073 | 58617 | 52719 | 52719 |
| 243 | RS | BR-116 | 292,0 | C | N/A | 8260 | 6425 | N/A | N/A | 3570 |
| | | | | D | N/A | 15934 | 12533 | N/A | N/A | 7182 |
| 244 | RS | BR-116 | 582,0 | C | N/A | 1127 | N/A | N/A | 1298 | 1298 |
| | | | | D | N/A | 1157 | N/A | N/A | 1330 | 1330 |
| 245 | RS | BR-153 | 452,0 | C | N/A | 2262 | 2656 | 2497 | N/A | 2706 |
| | | | | D | N/A | 2057 | 2347 | 2265 | N/A | 2430 |
| 246 | RS | BR-153 | 583,0 | C | N/A | 737 | 743 | 704 | 718 | 718 |
| | | | | D | N/A | 769 | 767 | 741 | 759 | 759 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 247 | RS | BR-158 | 286,6 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 2455 | 2455 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 2695 | 2695 |
| 248 | RS | BR-158 | 414,0 | C | N/A | 994 | 953 | 1039 | N/A | 1040 |
| | | | | D | N/A | 943 | 906 | 972 | N/A | 969 |
| 249 | RS | BR-158 | 42,0 | C | 3047 | 3906 | 3463 | N/A | N/A | 4096 |
| | | | | D | 3162 | 4075 | 3544 | N/A | N/A | 4166 |
| 250 | RS | BR-158 | 482,0 | C | 1680 | 1362 | 1382 | 1397 | 1459 | 1459 |
| | | | | D | 1538 | 1265 | 1266 | 1314 | 1336 | 1336 |
| 251 | RS | BR-285 | 134,0 | C | N/A | 1860 | 1868 | 1982 | 1761 | 1761 |
| | | | | D | N/A | 1987 | 2015 | 2059 | 1882 | 1882 |
| 252 | RS | BR-285 | 361,0 | C | N/A | 1990 | N/A | N/A | 2089 | 2089 |
| | | | | D | N/A | 2090 | N/A | N/A | 2188 | 2188 |
| 253 | RS | BR-285 | 490,0 | C | 3336 | N/A | N/A | N/A | 3294 | 3294 |
| | | | | D | 3304 | N/A | N/A | N/A | 3272 | 3272 |
| 254 | RS | BR-285 | 569,6 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 255 | RS | BR-287 | 410,0 | C | N/A | 799 | 725 | 750 | 742 | 742 |
| | | | | D | N/A | 820 | 772 | 758 | 784 | 784 |
| 256 | RS | BR-290 | 187,0 | C | N/A | 3371 | 3452 | N/A | N/A | 3617 |
| | | | | D | N/A | 3174 | 3300 | N/A | N/A | 3562 |
| 257 | RS | BR-290 | 453,0 | C | N/A | 1453 | 1417 | N/A | 1772 | 1772 |
| | | | | D | N/A | 1452 | 1426 | N/A | 1728 | 1728 |
| 258 | RS | BR-290 | 49,5 | C | N/A | 15073 | 17081 | 15553 | 14980 | 14980 |
| | | | | D | N/A | 15717 | 15093 | 15423 | 14836 | 14836 |
| 259 | RS | BR-290 | 509,0 | C | 1059 | 1101 | 1294 | 1116 | N/A | 1233 |
| | | | | D | 1043 | 1075 | 1312 | 1225 | N/A | 1359 |
| 260 | RS | BR-290 | 702,0 | C | 1175 | 1245 | 1093 | N/A | 1428 | 1428 |
| | | | | D | 1120 | 1187 | 1116 | N/A | 1477 | 1477 |
| 261 | RS | BR-293 | 165,0 | C | N/A | 1940 | 2010 | 2061 | 2065 | 2065 |
| | | | | D | N/A | 1943 | 2016 | 2197 | 2177 | 2177 |
| 262 | RS | BR-293 | 219,0 | C | N/A | 1068 | 1012 | 973 | N/A | 922 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 262 | RS | BR-293 | 219,0 | D | N/A | 1033 | 974 | 930 | N/A | 876 |
| 263 | RS | BR-386 | 156,0 | C | N/A | 3392 | 3490 | 3378 | 3479 | 3479 |
| | | | | D | N/A | 3133 | 2559 | 3362 | 3460 | 3460 |
| 264 | RS | BR-386 | 228,4 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 4527 | 4527 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 4121 | 4121 |
| 265 | RS | BR-386 | 438,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | INVÁLIDO |
| 266 | RS | BR-392 | 20,0 | C | N/A | 8785 | 9826 | N/A | 9226 | 9226 |
| | | | | D | N/A | 8798 | 9671 | N/A | 9345 | 9345 |
| 267 | RS | BR-392 | 213,0 | C | N/A | 1175 | 1280 | 798 | N/A | 707 |
| | | | | D | N/A | 1138 | 1272 | 821 | N/A | 760 |
| 268 | RS | BR-392 | 345,0 | C | N/A | 3432 | 3257 | 3368 | N/A | 3288 |
| | | | | D | N/A | 3358 | 3193 | 3280 | N/A | 3199 |
| 269 | RS | BR-392 | 45,0 | C | N/A | 6101 | 6231 | N/A | 6661 | 6661 |
| | | | | D | N/A | 6377 | 6476 | N/A | 6918 | 6918 |
| 270 | RS | BR-468 | 55,0 | C | N/A | 1356 | 1511 | 1489 | N/A | 1584 |
| | | | | D | N/A | 1263 | 1426 | 1387 | N/A | 1482 |
| 271 | SC | BR-101 | 103,0 | C | N/A | N/A | N/A | 25601 | N/A | 25282 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 23813 | N/A | 23516 |
| 272 | SC | BR-101 | 13,0 | C | N/A | N/A | 16520 | N/A | 18711 | 18711 |
| | | | | D | N/A | N/A | 17143 | N/A | 18508 | 18508 |
| 273 | SC | BR-101 | 154,0 | C | N/A | N/A | 25453 | 24028 | N/A | 22682 |
| | | | | D | N/A | N/A | 25225 | 25904 | N/A | 26601 |
| 274 | SC | BR-101 | 273,0 | C | 14652 | 14523 | 15204 | 15940 | 15906 | 15906 |
| | | | | D | 14913 | 14611 | 14945 | 15259 | 15797 | 15797 |
| 275 | SC | BR-101 | 339,0 | C | 14614 | 13836 | 15123 | 15389 | N/A | 15643 |
| | | | | D | 15957 | 15067 | 15236 | 15385 | N/A | 15024 |
| 276 | SC | BR-116 | 144,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2440 | N/A | 2409 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2547 | N/A | 2515 |
| 277 | SC | BR-116 | 205,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2712 | 2380 | 2380 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2816 | 2371 | 2371 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|------|------|------|------|---------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 278 | SC | BR-116 | 267,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 2979 | 2979 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 2982 | 2982 |
| 279 | SC | BR-153 | 53,0 | C | N/A | 2275 | 2300 | 2238 | 2443 | 2443 |
| | | | | D | N/A | 2468 | 2527 | 2403 | 2598 | 2598 |
| 280 | SC | BR-153 | 91,0 | C | N/A | 3063 | 3212 | 3232 | 3411 | 3411 |
| | | | | D | N/A | 2993 | 3153 | 3128 | 3436 | 3436 |
| 281 | SC | BR-158 | 107,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2659 | 2807 | 2807 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2608 | 2854 | 2854 |
| 282 | SC | BR-158 | 96,0 | C | N/A | N/A | N/A | 4225 | 4328 | 4328 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 4135 | 4358 | 4358 |
| 283 | SC | BR-163 | 109,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2208 | 2226 | 2226 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2196 | 2199 | 2199 |
| 284 | SC | BR-280 | 163,0 | C | 3932 | 3902 | N/A | N/A | 3893 | 3893 |
| | | | | D | 3783 | 3766 | N/A | N/A | 3716 | 3716 |
| 285 | SC | BR-280 | 8,0 | C | N/A | 6765 | 6595 | N/A | 6933 | 6933 |
| | | | | D | N/A | 7280 | 7220 | N/A | 7239 | 7239 |
| 286 | SC | BR-282 | 211,0 | C | N/A | N/A | N/A | 5264 | 5068 | 5068 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 5133 | 4968 | 4968 |
| 287 | SC | BR-282 | 305,0 | C | N/A | 1390 | 1378 | N/A | 1381 | 1381 |
| | | | | D | N/A | 1682 | 1478 | N/A | 1482 | 1482 |
| 288 | SC | BR-282 | 41,0 | C | N/A | 4009 | 4201 | 4341 | 4415 | 4415 |
| | | | | D | N/A | 4164 | 4219 | 4302 | 4326 | 4326 |
| 289 | SC | BR-282 | 428,0 | C | N/A | 2503 | 2412 | 2405 | 2257 | 2257 |
| | | | | D | N/A | 2566 | 2451 | 2451 | 2197 | 2197 |
| 290 | SC | BR-282 | 585,0 | C | N/A | N/A | N/A | 2700 | N/A | 2666 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 2957 | N/A | 2920 |
| 291 | SC | BR-470 | 248,2 | C | N/A | N/A | N/A | 4227 | 3439 | 3439 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 4311 | 3546 | 3546 |
| 292 | SC | BR-470 | 326,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 1971 | 1971 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 1959 | 1959 |
| 293 | SE | BR-101 | 146,0 | C | N/A | 5504 | 5725 | 5583 | 5580 | 5580 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 293 | SE | BR-101 | 146,0 | D | N/A | 6066 | 5775 | 5669 | 5712 | 5712 |
| 294 | SE | BR-101 | 47,0 | C | N/A | N/A | N/A | 5374 | 5299 | 5299 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 5484 | 5394 | 5394 |
| 295 | SE | BR-101 | 87,0 | C | 11783 | N/A | N/A | N/A | N/A | 11196 |
| | | | | D | 12156 | N/A | N/A | N/A | N/A | 11551 |
| 296 | SE | BR-235 | 13,2 | C | N/A | N/A | N/A | 4992 | 5063 | 5063 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 4988 | 5071 | 5071 |
| 297 | SE | BR-235 | 9,0 | C | 5578 | N/A | 4967 | N/A | N/A | 3878 |
| | | | | D | 5632 | N/A | 4956 | N/A | N/A | 3766 |
| 298 | SP | BR-116 | 120,0 | C | N/A | 31154 | 29912 | N/A | N/A | 27527 |
| | | | | D | N/A | 31275 | 29587 | N/A | N/A | 26393 |
| 299 | SP | BR-116 | 200,2 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 28014 | 28014 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 28586 | 28586 |
| 300 | SP | BR-116 | 437,0 | C | N/A | N/A | N/A | 10352 | 12660 | 12660 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | 11789 | 11798 | 11798 |
| 301 | SP | BR-116 | 56,0 | C | 25095 | 25034 | 24656 | N/A | N/A | 24269 |
| | | | | D | 25212 | 24217 | 23507 | N/A | N/A | 21754 |
| 302 | SP | BR-153 | 115,0 | C | N/A | 3264 | 2649 | 3360 | N/A | 3186 |
| | | | | D | N/A | 3578 | 3396 | 2549 | N/A | 2145 |
| 303 | SP | BR-153 | 262,0 | C | N/A | 2493 | 1865 | 2391 | 2288 | 2288 |
| | | | | D | N/A | 2622 | 2362 | 2505 | 2420 | 2420 |
| 304 | SP | BR-153 | 4,0 | C | N/A | 3558 | 3303 | 3259 | 3282 | 3282 |
| | | | | D | N/A | 3484 | 3300 | 3136 | 3009 | 3009 |
| 305 | SP | BR-381 | 14,0 | C | 14538 | 14424 | 14029 | 14667 | N/A | 14412 |
| | | | | D | 15477 | 14349 | 13433 | 14742 | N/A | 13720 |
| 306 | SP | BR-459 | 9,0 | C | N/A | 1379 | 1180 | 1273 | 1147 | 1147 |
| | | | | D | N/A | 1447 | 1260 | 1439 | 1372 | 1372 |
| 307 | TO | BR-153 | 246,0 | C | N/A | 2181 | 1987 | 2219 | 2408 | 2408 |
| | | | | D | N/A | 2527 | 2329 | 2318 | 2435 | 2435 |
| 308 | TO | BR-153 | 3,0 | C | N/A | 454 | 523 | 530 | 564 | 564 |
| | | | | D | N/A | 499 | 565 | 516 | 546 | 546 |

Continua na próxima página

| Continuação da Tabela 16 | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|---------|-------|---------|------|------|------|------|------|---------|
| ID | UF | Rodovia | Km | Sentido | VMDa | | | | | |
| | | | | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Projeto |
| 309 | TO | BR-153 | 623,0 | C | N/A | 1697 | 1695 | 1831 | N/A | 1875 |
| | | | | D | N/A | 2342 | 2180 | 2144 | N/A | 2024 |
| 310 | TO | BR-153 | 723,0 | C | N/A | 2156 | 2004 | 2088 | 2157 | 2157 |
| | | | | D | N/A | 2195 | 2036 | 2070 | 2162 | 2162 |
| 311 | TO | BR-230 | 110,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 470 | 470 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 476 | 476 |
| 312 | TO | BR-242 | 301,0 | C | N/A | N/A | N/A | N/A | 507 | 507 |
| | | | | D | N/A | N/A | N/A | N/A | 486 | 486 |
| Fim da Tabela 16 | | | | | | | | | | |

B Inconformidades nos postos de contagem

Ao longo deste trabalho, durante a execução dos procedimentos envolvendo a determinação do VMDa para os postos de contagem, acidentalmente foi constatado que a localização de dois postos estariam muito próximos entre si. De modo a investigar mais sobre esta situação atípica, que despertou uma curiosidade, foi feita uma análise dos dados de tráfego registrados nestes postos, bem como uma inspeção visual de suas localizações. A Tabela 17 apresenta os postos de contagem com inconformidades.

Tabela 17: Postos de contagem com inconformidades

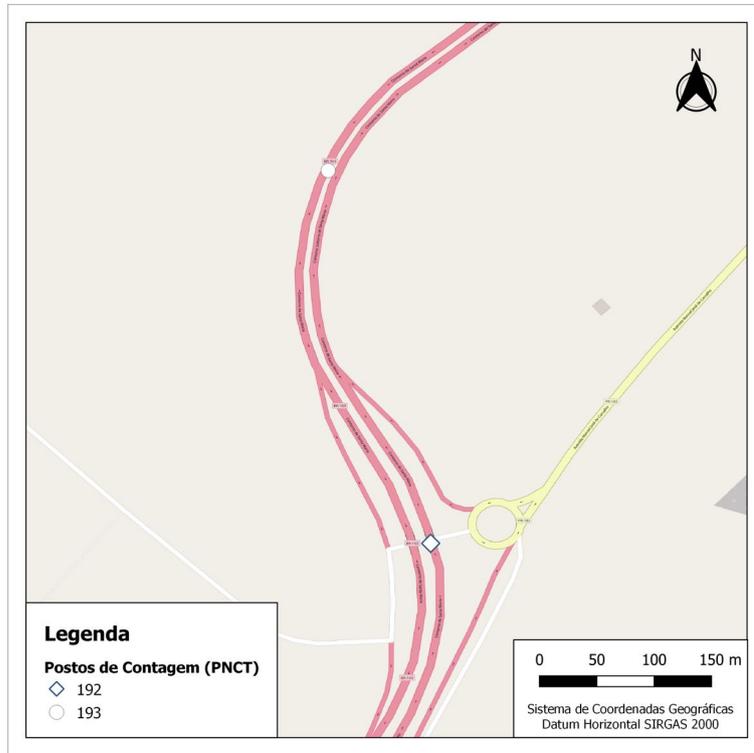
| ID | UF | Rodovia | Km |
|-----|----|---------|-------|
| 192 | PR | BR-163 | 181,0 |
| 193 | PR | BR-163 | 181,4 |

O posto com ID 192 apresentou registros de contagens para os anos de 2015, 2016 e 2017, enquanto o posto com ID 193 apresentou registros de contagens apenas para o ano de 2018.

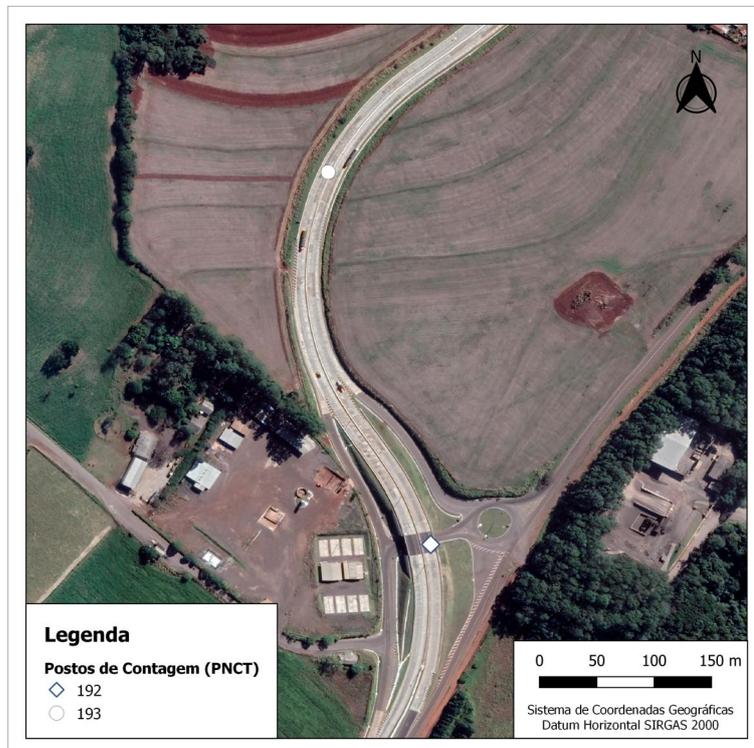
Na análise da localização destes postos é possível verificar que, mesmo estando distantes 400 metros entre si, estes não possuem os mesmos padrões de tráfego, tendo em vista que existem intersecções com outras vias no trecho entre eles. A Figura 33 apresenta a localização dos postos com inconformidades identificadas.

Uma análise da existência de inconformidades como esta (postos de contagem sobre o mesmo *link*) é possível de ser automatizada para uma verificação ao longo de toda a malha viária. Todavia, a correção exigiria uma inspeção visual para cada caso identificado, com a finalidade de analisar os padrões de tráfego, para que fosse possível propor uma solução, como por exemplo uma fusão de dados. Haja vista que este trabalho tem como premissa de que todos os dados utilizados estão certos, a ocorrência destas situações foram ignoradas.

Figura 33: Postos de contagem com inconformidades



(a) Visualização com fundo *Open Street Map*



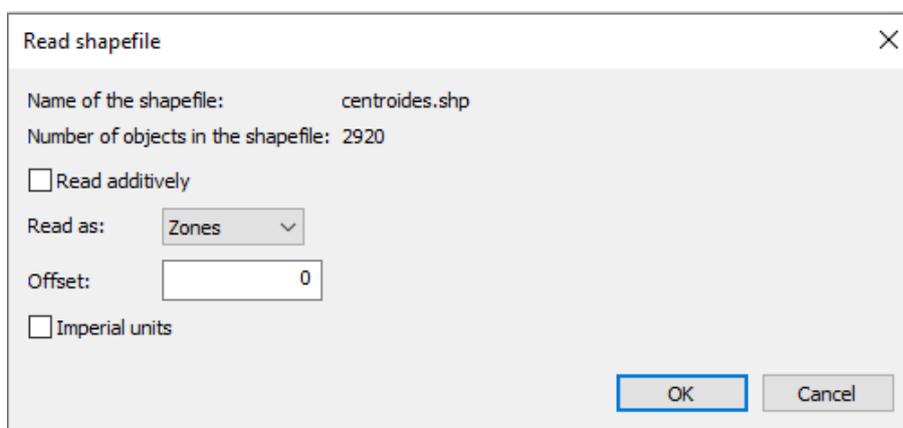
(b) Visualização com fundo Imagem de Satelite

C Interfaces gráficas do VISUM para a aplicação do método

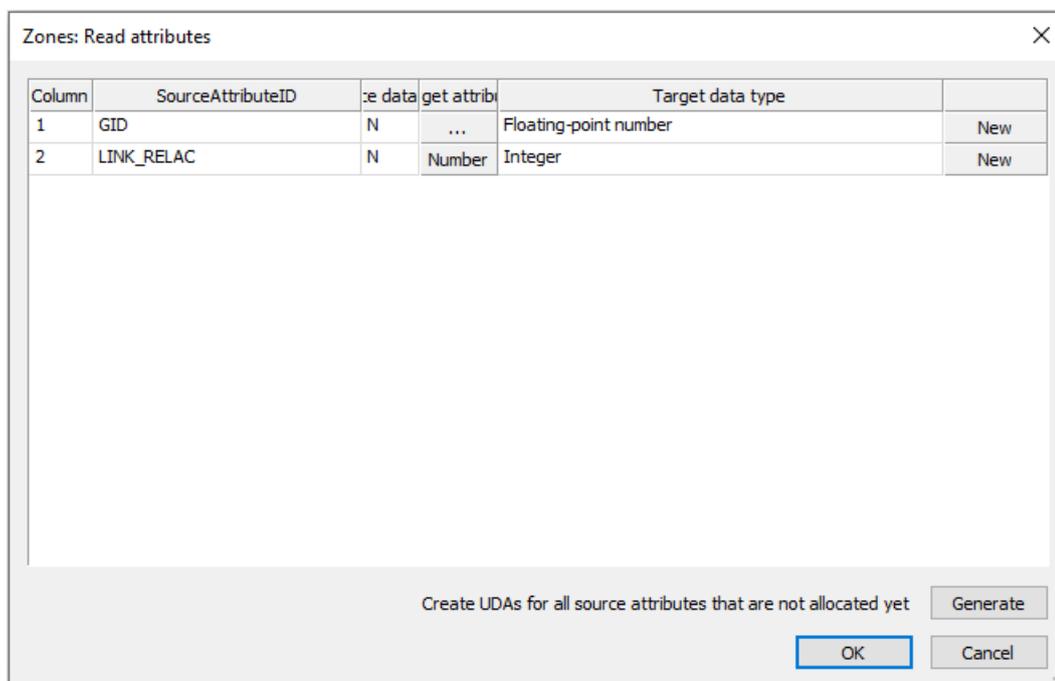
Este apêndice apresenta as capturas de tela da interface gráfica do VISUM para todas as etapas da Seção 4.7.

A Figura 34 apresenta as interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 01: Importação do *shapefile* contendo a configuração de centroides (zonas de tráfego).

Figura 34: Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 01



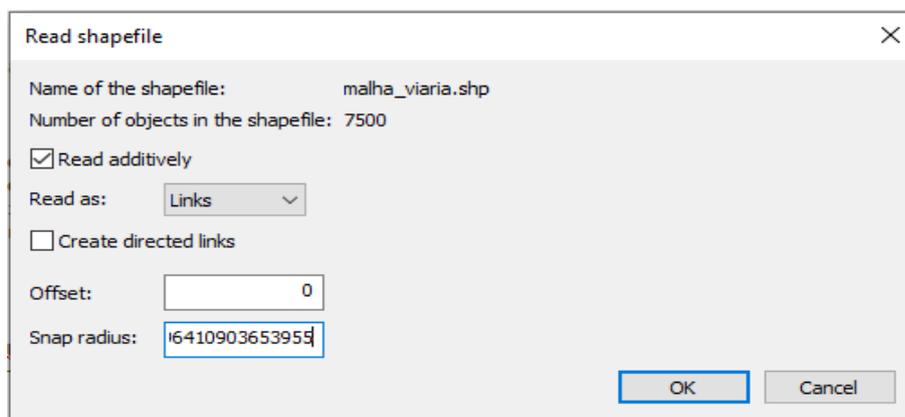
(a) Informando ao VISUM que o conteúdo do *shapefile* deve ser interpretado como zonas de tráfego



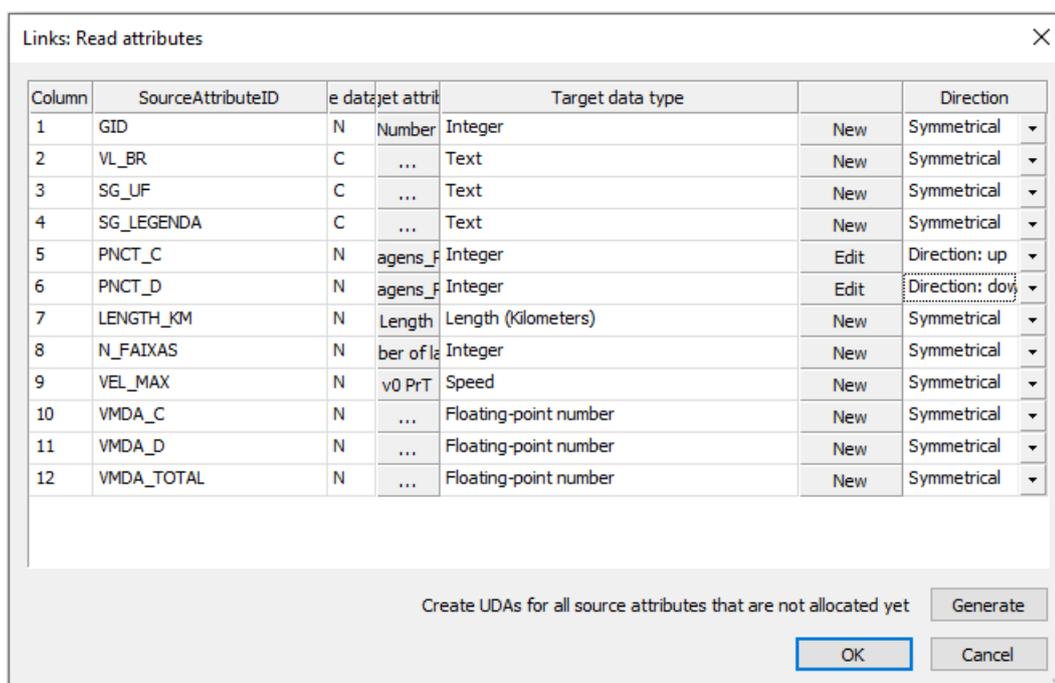
(b) Informando ao VISUM a correlação dos atributos dos centroides

A Figura 35 e a Figura 36 apresentam as interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 02: Importação do *shapefile* contendo a malha viária (*links*).

Figura 35: Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 02



(a) Informando ao VISUM que o conteúdo do *shapefile* deve ser interpretado como *links*



(b) Informando ao VISUM a correlação dos atributos dos *links*

Figura 36: Criação do atributo para armazenar as informações de VMDe advindas das contagens de tráfego (Etapa 02)

Create user-defined attribute (Links)

Attribute ID: Contagens_PNCT

Code: Contagens_PNCT

Name: Contagens_PNCT

Comment:

Data type: Integer Subattribute type: Empty

Attribute type:

Data attribute

Formula attribute

Allow empty value

Default value: 0

Minimum:

Maximum:

Cross-section logic: Sum

Ignore blocked directions

Options for split / connect:

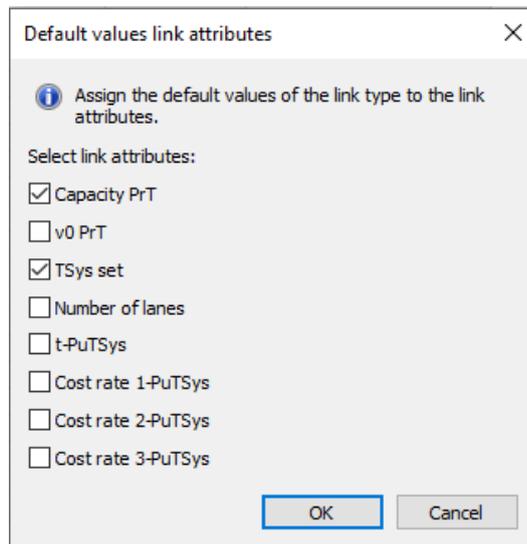
Copy values

Scale values

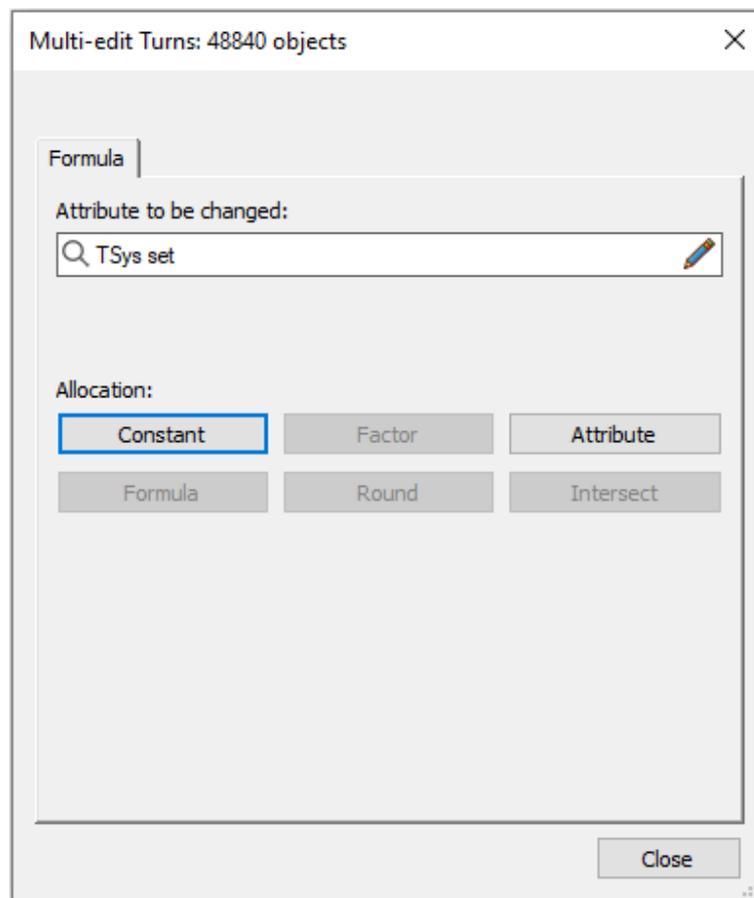
OK Cancel

A Figura 37 apresenta as interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 03: Correção de parâmetros dos *links* e movimentos dos nós.

Figura 37: Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 03



(a) Correção dos parâmetros *CapPrT* e *TSysSet* dos *links*



(b) Correção do parâmetros *TSysSet* dos *turns*

A Figura 38 apresenta a interface gráfica do VISUM para a Etapa 04: Criação de conectores das zonas de tráfego com a malha viária.

Figura 38: Interface gráfica do VISUM para a Etapa 04

Generate connectors

Only active zones and nodes are connected

Generate PrT connectors

Generate PuT connectors

Maximum length (direct dist.): 500.000km

Maximum number (current step): 3

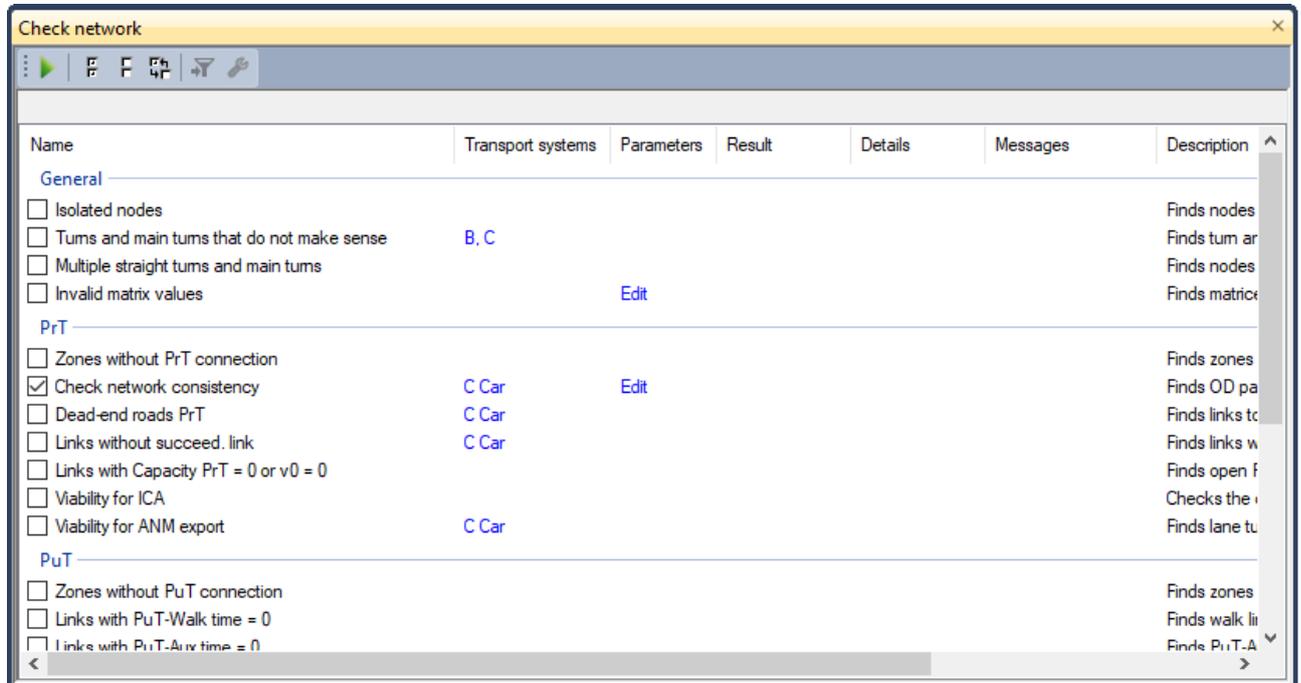
Maximum total number per zone (PrT) 3

Type of generated connectors: 9

OK Cancel

A Figura 39 apresenta a interface gráfica do VISUM para a Etapa 05: Executar a checagem de conexão, para garantir que o grafo está sem problemas de topologia.

Figura 39: Interface gráfica do VISUM para a Etapa 05



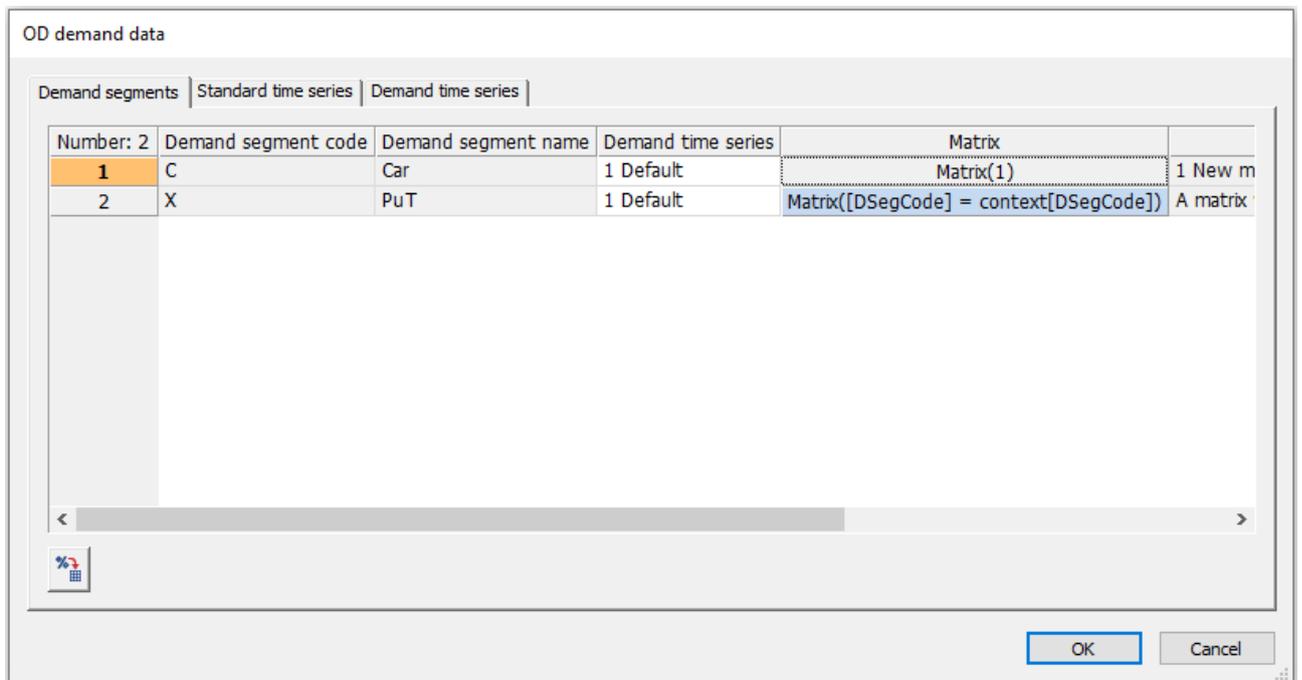
A Figura 40 e a A Figura 41 apresenta as interfaces gráficas do VISUM para Etapa 06: Criação de uma da matriz OD e a sua associação com a classe de demanda "Car".

Figura 40: Interface gráfica do VISUM para a criação de uma nova matriz OD de demanda (Etapa 06)

The image shows a 'Create matrices' dialog box with the following fields and options:

- Matrix attributes** | **Set of matrices**
- If several matrices are created, the matrix number will continuously increase.
- Number: 1
- Code: New matrix
- Name: New matrix
- Matrix type:
 - Demand matrices
 - Skim matrices
- Network object reference type:
 - Matrices with zone dimension
 - Matrices with main zone dimension
 - Matrices with stop area dimension
- Data source type:
 - Data matrix
 - Formula matrix
-
- Edit new matrices after creating
-

Figura 41: Interface gráfica do VISUM para associação da matriz OD com a classe de modo de transporte privado (Etapa 06)



A Figura 42 apresenta a interface gráfica para a Etapa 07: Cópia dos dados de demanda da matriz OD de planilha eletrônica para a matriz no VISUM.

Figura 42: Interface gráfica do VISUM para a Etapa 07

| Matrix editor (Matrix '1 New matrix') | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|---------|-------|--------|-------|---------|--------|-------|------|-------|-------|------|---------|
| 2.920 x 2.920 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Name | 13 | 15 | 19 | 21 | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| | Sum | 280.00 | 419.00 | 1539.00 | 19.00 | 250.00 | 11.00 | 1851.00 | 122.00 | 14.00 | 5.00 | 62.00 | 14.00 | 7.00 | 2864.00 |
| 13 | 236.00 | 1.00 | 1.00 | 98.00 | 0.00 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| 15 | 566.00 | 0.00 | 0.00 | 141.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.00 |
| 19 | 1504.00 | 133.00 | 141.00 | 240.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 | 23.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 22 | 201.00 | 3.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 23 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 24 | 1428.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 49.00 | 40.00 | 3.00 | 0.00 | 4.00 | 1.00 | 0.00 | 363.00 |
| 26 | 77.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 27 | 20.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 28 | 6.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 29 | 41.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 30 | 19.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 31 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 32 | 2726.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 525.00 | 15.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 49.00 |
| 33 | 21.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 36 | 851.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 97.00 |
| 37 | 665.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 64.00 |
| 39 | 320.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 |
| 40 | 189.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.00 |
| 41 | 17.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 44 | 139.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 2.00 |

A Figura 43 e a Figura 44 apresentam as interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 08: Criação de um *procedure sequence* (sequencia de procedimentos) para a execução do ajuste de matriz OD.

Figura 43: Interfaces gráficas do VISUM para a Etapa 08

| Number: 4 | Execution | Active | Procedure | Reference object(s) | Variant/file |
|-----------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|
| 1 | ▶ | <input checked="" type="checkbox"/> | PrT assignment ... | C Car ... | Equilibrium assignment |
| 2 | | <input checked="" type="checkbox"/> | Demand matrix correction ... | C Car ... | Least squares |
| 3 | | <input checked="" type="checkbox"/> | PrT assignment ... | C Car ... | Equilibrium assignment |
| 4 | | <input checked="" type="checkbox"/> | Assignment analysis ... | | |

(a) *Procedure sequence* do VISUM com todas as operações configuradas

Parameters: Assignment analysis

Network object: Links

Basis | Tolerances

Model attribute: Volume PrT [veh] (AP)

Observed value: Contagens_PNCT

Only objects with observed value > 0

Only active network objects

Classification by: Type number

OK Cancel

(b) Configurações da operação da análise de alocação

Figura 44: Configurações da operação de correção da matriz OD (Etapa 08)

Demand matrix correction (least squares, dynamic) X

Count values | Count values PrT | Distribution C | Configuration | Result time series

i For a time-dependent count value, choose <Time intervals> as subattribute.

Use only network objects with volume > 0 and counted value > 0

Zones

Base on totals of matrix rows and columns

Only active zones

Row total: Weight:

Column total: Weight:

Links

Base on counted link volumes

Only active links

Volume: Weight:

Turns and main turns

Base on counted turn and main turn volumes

Only active turns and main turns

Volume: Weight:

Screenlines

Base on counted volumes in the direction of the screenline

Only active screenlines

Volume: Weight:

Total traffic

Base on counted total traffic (all demand segments)

OK Cancel

D *Script* para criar e organizar o banco de dados

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para organizar o banco de dados no PostgreSQL para receber os dados
   brutos dos postos de contagem do PNCTe os dados processados do
   procedimento experimental.
10 #2021-07-03
11
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_resultados = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16 db_brutos = "host=localhost dbname=pnct user=paulo password=phjf"
17 arquivo_dados_snv = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\01
   _Area_estudo\\01_Rodovias\\SNV_corrigido.shp"
18 arquivo_dados_postos = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\01
   _Area_estudo\\03_Postos_PNCT\\postos_geo.shp"
19 arquivo_centroides = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\01
   _Area_estudo\\02_Cidades\\centroides_cidades_final.shp"
20
21 # =====
22 #IMPORTS
23
24 import time
25 import psycopg2
26 import math
27 import subprocess
28
29 # =====
30 #FUNÇÕES
31
32 def system_run( input ):
33     print( "-----" )
34     print( "comando: %s" % input )
35     result = subprocess.call( input , shell=True )
```

```

36
37 #=====
38 #CONEXÕES
39
40 start_time = time.time()
41
42 con_result = psycopg2.connect( db_resultados )
43 con_result.set_isolation_level( psycopg2.extensions.
    ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT )
44
45 con_pnct = psycopg2.connect( db_brutos )
46 con_pnct.set_isolation_level( psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT
    )
47
48 with con_result and con_pnct:
49
50     cur_result = con_result.cursor()
51     cur_pnct = con_pnct.cursor()
52
53     #=====
54     #Deletando o banco dos dados brutos dos postos de contagem do PNCT
55
56     cur_result.execute( "SELECT tabela FROM gerenciador_tabelas ORDER BY
    tabela" )
57     tabelas = cur_result.fetchall()
58
59     for tabela in tabelas:
60
61         print( tabela[0] )
62
63         string_delete = "DROP TABLE %s" % tabela[0]
64         print (string_delete)
65         cur_pnct.execute( string_delete )
66
67     #=====
68     #Deletando as tabelas dos dados geográficos
69
70     sql_string = "DROP TABLE centroides" #Centroides das cidades Originais
71     print( sql_string )
72     cur_result.execute( sql_string )
73
74     sql_string = "DROP TABLE centroides_agrup" #Centroides das cidades
75     print( sql_string )

```

```

76  cur_result.execute( sql_string )
77
78  sql_string = "DROP TABLE postos_pnct" #Postos de Contagem do PNCT
79  print( sql_string )
80  cur_result.execute( sql_string )
81
82  sql_string = "DROP TABLE snv_brasil" #Malha Viária do SNV
83  print( sql_string )
84  cur_result.execute( sql_string )
85
86  #=====
87  #Deletando as tabelas de dados processados
88
89  sql_string = "DROP TABLE IF EXISTS fatores_exp" #Fatores de Expansão
90  print( sql_string )
91  cur_result.execute( sql_string )
92
93  sql_string = "DROP TABLE IF EXISTS gerenciador_tabelas" #Gerenciador dos
94  postos de contagem do PNCT
95  print( sql_string )
96  cur_result.execute( sql_string )
97
98  sql_string = "DROP TABLE IF EXISTS vmda_completos" #VMDa para os postos
99  com completude anual de dados
100  print( sql_string )
101  cur_result.execute( sql_string )
102
103  sql_string = "DROP TABLE IF EXISTS vmdm_completos" #VMDm para os postos
104  sem completude anual de dados, porém com completude mensal de dados
105  print( sql_string )
106  cur_result.execute( sql_string )
107
108  sql_string = "DROP TABLE IF EXISTS vmda_todos" #VMDa para todos os postos
109  não descartados da malha
110  print( sql_string )
111  cur_result.execute( sql_string )
112

```

```

113 sql_string = "DROP TABLE IF EXISTS vmda_visum" #VMDa obtido a partir da
      execução do procedimento no VISUM
114 print( sql_string )
115 cur_result.execute( sql_string )
116
117 #=====
118 #Inserindo os dados gerográficos no banco de dados
119
120 system_run( "shp2pgsqli -S \"%s\" snv_brasil | psql -d programacao" %
      arquivo_dados_snv ) #Malha Viária do SNV
121 cur_result.execute( "UPDATE snv_brasil SET geom=st_setsrid(geom, 4674)" )
122 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN id_trecho" )
123 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN nm_tipo_tr" )
124 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN sg_tipo_tr" )
125 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN desc_coinc" )
126 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN vl_codigo" )
127 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_local_i" )
128 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_local_f" )
129 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN vl_km_inic" )
130 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN vl_km_fina" )
131 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN vl_extensa" )
132 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_sup_fed" )
133 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_obra" )
134 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ul" )
135 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_coinc" )
136 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_tipo_ad" )
137 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_ato_leg" )
138 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN est_coinc" )
139 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN sup_est_co" )
140 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_jurisdi" )
141 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_superfi" )
142 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN ds_legenda" )
143 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN leg_multim" )
144 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN versao_snv" )
145 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN id_versao" )
146 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN marcador" )
147
148 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN pnct_c integer" )
149 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN pnct_d integer" )
150 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN length_km float" )
151 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN n_faixas integer" )
152 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN vel_max integer" )
153 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN vmda_c integer" )

```

```

153 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN vmda_d integer" )
154 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil ADD COLUMN vmda_total integer"
155 )
156 print( "Malha Viária Inserida no Banco de Dados" )
157
158 system_run( "shp2pgsql -S \"%s\" postos_pnct | psql -d programacao" %
159 arquivo_dados_postos ) #Postos de Contagem do PNCT
160 cur_result.execute( "UPDATE postos_pnct SET geom=st_setsrid(geom, 4674)" )
161 cur_result.execute( "ALTER TABLE postos_pnct ADD COLUMN validade boolean"
162 )
163 cur_result.execute( "ALTER TABLE postos_pnct ADD COLUMN volume_c integer"
164 )
165 cur_result.execute( "ALTER TABLE postos_pnct ADD COLUMN volume_d integer"
166 )
167 print( "Postos de Contagem Inseridos no Banco de Dados" )
168
169 system_run( "shp2pgsql -S \"%s\" centroides | psql -d programacao" %
170 arquivo_centroides ) #Centroides das Cidades
171 cur_result.execute( "UPDATE centroides SET geom=st_setsrid(geom, 4674)" )
172 cur_result.execute( "ALTER TABLE centroides ADD COLUMN cod_matriz integer"
173 )
174 cur_result.execute( "UPDATE centroides SET cod_matriz=cd_matriz::integer"
175 )
176 cur_result.execute( "ALTER TABLE centroides DROP COLUMN cd_matriz" )
177 print( "Centroides das Cidades Originais Inseridos no Banco de Dados" )
178
179 #=====
180 #Ajustando a camada da malha viária
181
182 cur_result.execute( "SELECT DISTINCT gid FROM snv_brasil ORDER BY gid" )
183 links_snv = cur_result.fetchall()
184
185 for link in links_snv:
186
187     cur_result.execute( "SELECT sg_legenda FROM snv_brasil WHERE gid = %d" %
188 link[0] )
189 tipo = cur_result.fetchall()[0][0]
190
191     if tipo == "DUP":
192         n_faixas = 2
193         vel_max = 110
194
195     elif tipo == "EOD":

```

```

187     n_faixas = 2
188     vel_max = 110
189
190     else:
191         n_faixas = 1
192         vel_max = 100
193
194     cur_result.execute( "UPDATE snv_brasil SET n_faixas = %d WHERE gid = %d"
195 % ( n_faixas, link[0] ) )
196     cur_result.execute( "UPDATE snv_brasil SET vel_max= %d WHERE gid = %d" %
197 ( vel_max, link[0] ) )
198
199     cur_result.execute( "SELECT length FROM snv_brasil WHERE gid = %d" %
200 link[0])
201     compr_m = cur_result.fetchall()[0][0]
202     compr_km = compr_m/1000
203
204     cur_result.execute( "UPDATE snv_brasil SET length = %f WHERE gid = %d" %
205 ( compr_km, link[0] ) )
206
207 cur_result.execute( "ALTER TABLE snv_brasil DROP COLUMN length" )
208
209 #=====
210 #Criando as tabelas de dados processados
211
212 sql_string = "CREATE TABLE fatores_exp (tabela varchar(100), ano integer,
213 mes integer, sentido varchar(100), f_exp double precision, gid integer )"
214 print( sql_string )
215 cur_result.execute( sql_string )
216 cur_result.execute( "SELECT AddGeometryColumn('fatores_exp', 'geom', 4674,
217 'POINT', 2)" )
218
219 sql_string = "CREATE TABLE gerenciador_tabelas (tabela varchar(100),
220 estado character(2), rodovia character(6), km real, anos_validos integer,
221 ano_final integer, gid integer)"
222 print( sql_string )
223 cur_result.execute( sql_string )
224 cur_result.execute( "SELECT AddGeometryColumn('gerenciador_tabelas', 'geom
225 ', 4674, 'POINT', 2)" )
226
227 sql_string = "CREATE TABLE vmda_completos (tabela varchar(100), ano
228 integer, sentido varchar(1), completude real, vmda integer, gid integer )
229 "

```

```

219 print( sql_string )
220 cur_result.execute( sql_string )
221 cur_result.execute( "SELECT AddGeometryColumn('vmda_completos', 'geom',
222 4674, 'POINT', 2)" )
223
224 sql_string = "CREATE TABLE vmdm_completos (tabela varchar(100), ano
225 integer, mes integer, sentido varchar(1), completude real, vmdm integer,
226 gid integer )"
227 print( sql_string )
228 cur_result.execute( sql_string )
229 cur_result.execute( "SELECT AddGeometryColumn('vmdm_completos', 'geom',
230 4674, 'POINT', 2)" )
231
232 sql_string = "CREATE TABLE vmda_todos (tabela varchar(100), ano integer,
233 sentido varchar(1), vmda integer, gid_base integer, gid_exp integer,
234 compl_anual boolean )"
235 print( sql_string )
236 cur_result.execute( sql_string )
237
238 sql_string = "CREATE TABLE vmda_projetado (tabela varchar(100), sentido
239 varchar(1), vmda integer )"
240 print( sql_string )
241 cur_result.execute( sql_string )
242
243 sql_string = "CREATE TABLE centroides_agrup (gid serial not null,
244 link_relac integer)"
245 print( sql_string )
246 cur_result.execute( sql_string )
247 cur_result.execute( "SELECT AddGeometryColumn('centroides_agrup', 'geom',
248 4674, 'POINT', 2)" )
249
250 sql_string = "CREATE TABLE vmda_visum (gid integer, from_n integer, to_n
251 integer, sentido varchar(1), vmda integer)"
252 print( sql_string )
253 cur_result.execute( sql_string )
254
255 con_pnct.close()
256 con_result.close()
257
258 end_time = time.time()
259 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
260 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
261 )

```

```
251 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60
252
253 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
    tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))
```

E *Script* para inserção dos registros dos postos de contagem no banco de dados

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para colocar no PostgreSQL todas as tabelas .csv de dados de postos
   de contagem do PNCT
10 #2021-07-03
11
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_resultados = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16 db_brutos = "host=localhost dbname=pnct user=paulo password=phjf"
17 dir_dados_PNCT = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\00_Dados_PNCT
   \\PNCT"
18 dir_temp = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\00_dados_temp"
19 classes = [ "c1", "c2", "c3", "c4", "c5", "c6", "c7", "c8", "c9", "c10", "
   c11" ]
20
21 # =====
22 #IMPORTS
23
24 import time
25 from datetime import datetime
26 import psycopg2
27 import glob
28 import math
29
30 #=====
31 #FUNÇÕES
32
33 def converte_quartil( quartil ):
34
35     #print ("quartil = %s" % quartil)
36
```

```

37 if quartil == "1":
38     return 00
39 elif quartil == "2":
40     return 15
41 elif quartil == "3":
42     return 30
43 elif quartil == "4":
44     return 45
45 else:
46     return "ERRO"
47
48 #=====
49 #CONEXÃO
50
51 start_time = time.time()
52
53 con_result = psycopg2.connect( db_resultados )
54 con_result.set_isolation_level( psycopg2.extensions.
    ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT )
55
56 con_pnct = psycopg2.connect( db_brutos )
57 con_pnct.set_isolation_level( psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT
    )
58
59 with con_result and con_pnct:
60
61     cur_result = con_result.cursor()
62     cur_pnct = con_pnct.cursor()
63
64     cur_result.execute( "DELETE FROM gerenciador_tabelas" )
65
66     classes_string = ",".join(classes)
67     classes_string_com_tipo = classes_string.replace(",", " integer,") + "
    integer"
68
69     lista_de_arquivos = glob.glob( "%s\\*.csv" % dir_dados_PNCT )
70
71     for arquivo in sorted (lista_de_arquivos):
72
73         print ( arquivo )
74
75         temp_dados = open( "%s\\temp_dados.csv" % dir_temp, "w" )
76

```

```

77     conta_linha = 0
78     for line in open(arquivo, "r").readlines():
79
80         if conta_linha > 0:
81
82             line = line.rstrip()
83             partes = line.split(";")
84
85             if conta_linha == 1:
86
87                 estado = partes[0]
88                 rodovia = partes[1]
89                 km = round( float( partes[2].replace( "\\\"", "" ) ), 1)
90                 km_txt = partes[2].replace( "\\\"", "" ).replace( ".", "_" )
91
92
93                 sentido = partes[3]
94                 ano_mes_dia = partes[4]
95                 hora = int( partes[5] )
96                 quarto_hora = partes[6]
97
98                 ano_mes_dia_partes = ano_mes_dia.split( "-" )
99                 ano = int( ano_mes_dia_partes[0] )
100                mes = int( ano_mes_dia_partes[1] )
101                dia = int( ano_mes_dia_partes[2] )
102
103                #timestamp = "%04d-%02d-%02d %02d:%s" % ( ano, mes, dia, hora,
104                converte_quartil( quarto_hora ) )
105                timestamp = datetime( ano, mes, dia, hora, converte_quartil(
106                quarto_hora ) )
107
108                volumes_classes = []
109
110                for i in range( len(classes) ):
111
112                    volume = str( int( partes[i+7] ) )
113
114                    volumes_classes.append( volume )
115
116                volumes_classes_string = ";".join( volumes_classes )
117
118                temp_dados.write( "%s;%s;%s\n" % ( sentido, timestamp,
119                volumes_classes_string ) )

```

```

117
118     conta_linha += 1
119
120     temp_dados.close()
121
122     tabela = "%s_%s_km_%s" % ( estado.lower(), rodovia.lower().replace( "-",
123         "_"), km_txt )
124
125     # =====
126     # Limpando
127     sql_string = "DROP TABLE IF EXISTS %s" % tabela
128     #print( sql_string )
129     cur_pnct.execute( sql_string )
130
131     sql_string = "DROP INDEX IF EXISTS %s_index" % tabela
132     #print( sql_string )
133     cur_pnct.execute( sql_string )
134
135     # =====
136     # Gravando
137     sql_string = "CREATE TABLE %s (sentido character(1), timestamp timestamp
138         , %s)" % ( tabela, classes_string_com_tipo )
139     #print( sql_string )
140     cur_pnct.execute( sql_string )
141
142     sql_string = "COPY %s( sentido, timestamp, %s) FROM '%s\\temp_dados.csv'
143         DELIMITER ',';" % ( tabela, classes_string, dir_temp )
144     #print( sql_string )
145     cur_pnct.execute( sql_string )
146
147     sql_string = "ALTER TABLE %s ADD COLUMN total integer" % tabela
148     #print( sql_string )
149     cur_pnct.execute( sql_string )
150
151     sql_string = "UPDATE %s SET total=%s" % ( tabela, "+".join( classes ) )
152     #print( sql_string )
153     cur_pnct.execute( sql_string )
154
155     sql_string = "CREATE INDEX %s_index ON %s (timestamp)" % ( tabela,
156         tabela )
157     #print( sql_string )
158     cur_pnct.execute( sql_string )

```

```

156     cur_result.execute( "SELECT gid FROM postos_pnct WHERE rodovia='%s' AND
estado='%s' AND trunc(km, 0)=%f" % ( rodovia, estado, int ( km ) ) )
157     result_gid = cur_result.fetchall()
158
159     if len( result_gid ) == 0:
160         print( "OPA!!! não existe posto para estes dados de volume: %s, %s, %d
" % ( rodovia, estado, int ( km ) ) )
161     if len( result_gid ) > 1:
162         print( "OPA!!! Tem mais do que um posto geom para este dado de volume.
" )
163
164     cur_result.execute( "SELECT ST_AsText(geom) FROM postos_pnct WHERE gid=%
f" % ( result_gid[0][0] ) )
165     result_geom = cur_result.fetchall()
166
167     sql_string = "INSERT INTO gerenciador_tabelas (tabela, estado, rodovia,
km, gid, geom) VALUES ('%s', '%s', '%s', %f, %d, ( ST_GeomFromText('%s',
4674) ))" % ( tabela, estado, rodovia, km, int( result_gid[0][0] ),
result_geom[0][0] )
168     #print( sql_string )
169     cur_result.execute( sql_string )
170
171     print( "Tabela %s inserida no banco de dados" % tabela)
172     print( "\n" )
173
174 con_pnct.close()
175 con_result.close()
176
177 end_time = time.time()
178 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
179 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
)
180 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60 - tempo_horas
* 3600
181
182 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))

```

F *Script* para análise de completude e cálculo de VMDa, de VMDm e de fatores de expansão dos conjuntos de dados

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para verificar a completude dos dados de contagem dos postos do PNCT
10 # , calcular o respectivo VMDa ou VMDm's e os fatores de expasão mensais
11 #2021-07-04
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_resultados = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16 db_brutos = "host=localhost dbname=pnct user=paulo password=phjf"
17
18 # =====
19 #IMPORTS
20
21 import time
22 import math
23 import psycopg2
24 import datetime
25 import numpy as np
26
27 # =====
28 #FUNÇÕES
29
30 def ano_bissexto(ano):
31     if ano % 400 == 0:
32         return True
33     if ano % 100 == 0:
34         return False
35     if ano % 4 == 0:
36         return True
```

```

37     return False
38
39 def dias_mes (mes, ano):
40     if mes in {1, 3, 5, 7, 8, 10, 12}:
41         return 31
42     if mes == 2:
43         if ano_bissesto(ano):
44             return 29
45         return 28
46     return 30
47
48 def dias_ano (ano):
49     if ano_bissesto(ano):
50         return 366
51     return 365
52
53 #=====
54 #CONEXÃO
55
56 start_time = time.time()
57
58 con_result = psycopg2.connect( db_resultados )
59 con_result.set_isolation_level( psycopg2.extensions.
60     ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT )
61
62 con_pnct = psycopg2.connect( db_brutos )
63 con_pnct.set_isolation_level( psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT
64     )
65
66 with con_result and con_pnct:
67
68     cur_result = con_result.cursor()
69     cur_pnct = con_pnct.cursor()
70
71     cur_result.execute( "DELETE FROM vmda_completos" )
72     cur_result.execute( "DELETE FROM vmdm_completos" )
73     cur_result.execute( "DELETE FROM fatores_exp" )
74
75     cur_result.execute( "SELECT tabela FROM gerenciador_tabelas ORDER BY
76         tabela" )
77
78     #cur.execute( "SELECT tabela FROM gerenciador_tabelas WHERE estado='PB'
79         AND rodovia='BR-101' AND km=76 ORDER BY tabela" )
80
81     tabelas = cur_result.fetchall()

```

```

76
77 for tabela in tabelas:
78
79     cur_result.execute( "SELECT estado, rodovia, km, gid, ST_AsText(geom)
FROM gerenciador_tabelas WHERE tabela='%s'" % tabela[0] )
80     result = cur_result.fetchall()
81     estado = result[0][0]
82     rodovia = result[0][1]
83     km = float( result[0][2] )
84     gid = result[0][3]
85     geom = result[0][4]
86
87     cur_pnct.execute( "SELECT DISTINCT EXTRACT(YEAR FROM timestamp) AS ano
FROM %s ORDER BY ano" % tabela[0] )
88     anos = cur_pnct.fetchall()
89
90     valida_posto = 0
91
92     print("\n")
93     print( "POSTO: Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s" % ( rodovia, estado,
km ) )
94
95     for ano in anos:
96
97         cur_pnct.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM %s WHERE EXTRACT(YEAR
FROM timestamp)=%s ORDER BY sentido" % ( tabela[0], int( ano[0] ) ) )
98         sentidos = cur_pnct.fetchall()
99
100        for sentido in sentidos:
101
102            print( "CENÁRIO: Ano = %s, Sentido = %s" % (int(ano[0]), sentido[0]
) )
103
104            completo = "true"
105            registros_anual = 0
106            total_ano = 0
107
108            dias_do_ano = dias_ano ( int( ano[0] ) )
109            cur_pnct.execute( "SELECT DISTINCT EXTRACT(MONTH FROM timestamp) AS
mes FROM %s ORDER BY mes" % tabela[0] )
110            meses = cur_pnct.fetchall()
111            valida_ano = np.zeros( (12,1) )
112            vmdm_array = np.zeros( (12,1) )
            compl_mes_array = np.zeros( (12,1) )

```

```

113
114     for mes in meses:
115
116         registros_mes = 0
117         total_mes = 0
118         dias_do_mes = dias_mes ( int( mes[0] ), int( ano[0] ) )
119         ts_inicio = datetime.datetime( int( ano[0] ), int( mes[0] ), 1, 0,
0, 0 )
120
121         for j in range( dias_do_mes ):
122
123             for i in range( 24 ):
124
125                 soma = 0
126
127                 for k in range( 4 ):
128
129                     timestamp = ts_inicio.strftime( "%Y-%m-%d %H:%M:%S" )
130
131                     cur_pnct.execute( "SELECT total FROM %s WHERE EXTRACT(YEAR
FROM timestamp)=%s AND EXTRACT(MONTH FROM timestamp)=%s AND sentido='%s'
AND timestamp='%s'" % ( tabela[0], int( ano[0] ), int( mes[0] ), sentido
[0], timestamp ) )
132                     try:
133                         total = int( cur_pnct.fetchall()[0][0] )
134                         total_mes += total
135                         registros_mes += 1
136                     except:
137                         completo = "false"
138
139                     ts_inicio = ts_inicio + datetime.timedelta( minutes = 15 )
140
141         compl_mes = float( registros_mes ) / ( dias_do_mes * 24.0 * 4.0 )
142         total_ano += total_mes
143         registros_anual += registros_mes
144         #print( "Completude Mensal de %s de %s = %s" % ( int( mes[0] ),
int( ano[0] ), compl_mes ) )
145
146         if compl_mes == 1:
147
148             valida_ano [ ( int( mes[0] ) - 1 ) ] = 1
149             vmdm = int ( total_mes / dias_do_mes )
150             vmdm_array[ ( int( mes[0] ) - 1 ) ] = vmdm

```

```

151         compl_mes_array[ ( int( mes[0] ) - 1 ) ] = compl_mes
152         #print( vmdm )
153
154     else:
155
156         valida_ano [ ( int( mes[0] ) - 1 ) ] = 0
157
158         compl_anual = float( registros_anual ) / ( dias_do_ano * 24.0 * 4.0
159     )
160         #print( "Completude Anual de %s = %s" % ( int( ano[0] ), compl_anual
161     ) )
162         #print( vmdm_array )
163
164         if compl_anual == 1:
165
166             vmda = int ( total_ano / dias_do_ano )
167             f_exp = vmda / vmdm_array
168             #print( vmda )
169             cur_result.execute( "INSERT INTO vmda_completos (tabela, ano,
170     sentido, completude, vmda, gid, geom) VALUES ('%s', %04d, '%s', %f, %d,
171     '%s', ( ST_GeomFromText('%s', 4674)))" % ( tabela[0], int( ano[0] ),
172     sentido[0], compl_anual, vmda, int( gid ), geom ) )
173
174             cur_pnct.execute( "SELECT DISTINCT EXTRACT(MONTH FROM timestamp)
175     AS mes FROM %s ORDER BY mes" % tabela[0] )
176             meses = cur_pnct.fetchall()
177
178             for mes in meses:
179
180                 #print( f_exp[( int( mes[0] ) - 1 )] )
181                 cur_result.execute( "INSERT INTO fatores_exp (tabela, ano, mes,
182     sentido, f_exp, gid, geom) VALUES ('%s', %04d, %04d, '%s', %f, '%s', (
183     ST_GeomFromText('%s', 4674)))" % ( tabela[0], int( ano[0] ), int( mes[0]
184     ), sentido[0], f_exp[( int( mes[0] ) - 1 )], int( gid ), geom ) )
185
186         else:
187
188             for mes in meses:
189
190                 if vmdm_array[( int( mes[0] ) - 1 )] > 0:
191                     #print( vmdm_array[( int( mes[0] ) - 1 )] )
192                     cur_result.execute( "INSERT INTO vmdm_completos (tabela, ano,
193     mes, sentido, completude, vmdm, gid, geom) VALUES ('%s', %04d, %02d, '%s

```

```

184         ', %f, %d, %s', ( ST_GeomFromText('%s', 4674)))" % ( tabela[0], int( ano
185 [0] ), int( mes[0] ), sentido[0], compl_mes_array[( int( mes[0] ) - 1 )],
186 vmdm_array[( int( mes[0] ) - 1 )], int( gid ), geom ) )
187
188     soma_valida = sum( valida_ano )
189
190     if soma_valida > 0:
191         posto_valido = "true"
192         valida_posto += 1
193         print("O posto é valido neste cenário e foi gravado com sucesso")
194
195     else:
196         posto_valido = "false"
197         print("O posto não é valido neste cenário e foi descartado")
198
199     if valida_posto > 0:
200         validade = "true"
201         cur_result.execute( "UPDATE postos_pnct SET validade = %s WHERE
202 rodovia='%s' AND estado='%s' AND trunc(km, 0)=%f" % ( validade, rodovia,
203 estado, int ( km ) ) )
204         print( "O posto Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s apresentou cenários
205 válidos e será considerado na análise" % ( rodovia, estado, km ) )
206
207     else:
208         validade = "false"
209         cur_result.execute( "UPDATE postos_pnct SET validade = %s WHERE
210 rodovia='%s' AND estado='%s' AND trunc(km, 0)=%f" % ( validade, rodovia,
211 estado, int ( km ) ) )
212         print( "O posto Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s não apresentou cená
213 rios válidos e foi descartado da análise" % ( rodovia, estado, km ) )
214
215 con_pnct.close()
216 con_result.close()
217
218 end_time = time.time()
219 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
220 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
221 )
222 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60 - tempo_horas
223 * 3600

```

```
216 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (  
    tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))
```

G *Script* para associação entre conjuntos de dados e cálculo de VMDa expandido

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para associar os postos de contagem sem completude anual de dados
   com postos com completude anual de dados e calcular os respectivos VMDa.
10 #2021-07-10
11
12 # =====
13 #IMPORTS
14
15 from numpy import average
16 import psycopg2
17 import time
18 import math
19
20 # =====
21 #VARIÁVEIS
22
23 db_string = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
24
25 # =====
26 #CÓDIGO
27
28 start_time = time.time()
29
30 con = psycopg2.connect( db_string )
31 con.set_isolation_level(psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
32
33 with con:
34
35     cur = con.cursor()
36
37     cur.execute( "DELETE FROM vmda_todos" )
38
```

```

39 #Transferindo os dados de VMDa dos postos com completude anual para a nova
    tabela
40
41 cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM vmda_completos ORDER BY tabela")
42 postos_vmda = cur.fetchall()
43
44 for posto in postos_vmda:
45
46     cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmda_completos WHERE tabela =
        '%s' ORDER BY sentido" % ( posto[0] ) )
47     sentidos = cur.fetchall()
48
49     cur.execute( "SELECT gid FROM vmda_completos WHERE tabela = '%s'" % (
        posto[0] ) )
50     gid = cur.fetchall()
51
52     compl_anual = "true"
53
54     for sentido in sentidos:
55
56         cur.execute( "SELECT DISTINCT ano FROM vmda_completos WHERE tabela =
            '%s' AND sentido = '%s' ORDER BY ano" % ( posto[0], sentido[0] ) )
57         anos = cur.fetchall()
58
59         for ano in anos:
60
61             cur.execute( "SELECT vmda FROM vmda_completos WHERE tabela = '%s'
                AND sentido = '%s' AND ano = '%s'" % ( posto[0], sentido[0], ano[0] ) )
62             vmda = cur.fetchall()
63
64             cur.execute( "INSERT INTO vmda_todos (tabela, ano, sentido, vmda,
                gid_base, gid_exp, compl_anual) VALUES ('%s', %04d, '%s', %d, '%s', '%s',
                %s)" % ( posto[0], int( ano[0] ), sentido[0], int( vmda[0][0] ), gid
                [0][0], gid[0][0], compl_anual) )
65             print("\n")
66             print( "Posto = %s, Sentido = %s Ano = %s" % ( posto[0], sentido[0],
                int(ano[0]) ) )
67             print( "VMDa = %f" % vmda[0] )
68
69 #Associando os postos sem completude, com os postos com completude,
    calculando os VMDas e inserindo no banco
70
71 cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM vmdm_completos ORDER BY tabela")

```

```

72  postos_vmdm = cur.fetchall()
73
74  for posto in postos_vmdm:
75
76      cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmdm_completos WHERE tabela =
77                  '%s' ORDER BY sentido" % ( posto[0] ) )
78      sentidos = cur.fetchall()
79      compl_anual = "false"
80
81      for sentido in sentidos:
82
83          cur.execute( "SELECT DISTINCT ano FROM vmdm_completos WHERE tabela =
84                      '%s' AND sentido = '%s' ORDER BY ano" % ( posto[0], sentido[0] ) )
85          anos = cur.fetchall()
86
87          for ano in anos:
88
89              cur.execute( "SELECT DISTINCT mes FROM vmdm_completos WHERE tabela =
90                          '%s' AND sentido = '%s' AND ano = '%s' ORDER BY mes" % ( posto[0],
91                          sentido[0], ano[0] ) )
92              meses = cur.fetchall()
93              vmda = 0
94              print("\n")
95              print( "Posto = %s, Sentido = %s Ano = %s" % ( posto[0], sentido[0],
96                  int(ano[0]) ) )
97
98              for mes in meses:
99
100                 cur.execute( "SELECT gid, vmdm FROM vmdm_completos WHERE tabela =
101                             '%s' AND sentido = '%s' AND ano = '%s' AND mes = '%s'" % ( posto[0],
102                             sentido[0], ano[0], mes[0] ) )
103                 result = cur.fetchall()
104                 gid_vmdm = result[0][0]
105                 vmdm = result[0][1]
106
107                 cur.execute( "SELECT gid, ST_Distance( ( SELECT geom FROM
108                             vmdm_completos WHERE tabela = '%s' AND sentido = '%s' AND ano = '%s' AND
109                             mes = '%s' ), geom ) AS distancia FROM fatores_exp WHERE mes = '%s' ORDER
110                             BY distancia LIMIT 1" % ( posto[0], sentido[0], ano[0], mes[0], mes[0] )
111                 )
112
113                 result = cur.fetchall()
114                 gid_vmda = result[0][0]

```

```

104         cur.execute( "SELECT f_exp FROM fatores_exp WHERE gid = '%s' AND
mes = '%s' ORDER BY ano LIMIT 2" % ( gid_vmda, mes[0] ) )
105         result = cur.fetchall()
106
107         f_exp = average(result)
108         vmda += (vmdm * f_exp)
109
110         vmda = vmda / len (meses)
111
112         print( "VMDa = %f" % vmda )
113         cur.execute( "INSERT INTO vmda_todos (tabela, ano, sentido, vmda,
gid_base, gid_exp, compl_anual) VALUES ('%s', %04d, '%s', %d, '%s', '%s',
%s)" % (posto[0], int( ano[0] ), sentido[0], int( vmda ), gid_vmdm,
gid_vmda, compl_anual ) )
114
115 con.close()
116
117 end_time = time.time()
118 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
119 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
)
120 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60 - tempo_horas
* 3600
121
122 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))

```

H *Script* para verificar a série histórica de conjunto de dados válidos dos postos de contagem

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para verificar a existência de VMDa nos postos pelos anos
10 #2021-07-28
11
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_string = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16 dir_dados_PNCT = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\00_Dados_PNCT
    \\PNCT"
17 dir_temp = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\00_dados_temp"
18 classes = [ "c1", "c2", "c3", "c4", "c5", "c6", "c7", "c8", "c9", "c10", "
    c11" ]
19
20 # =====
21 #IMPORTS
22
23 import time
24 import math
25 import psycopg2
26
27 # =====
28 #FUNÇÕES
29
30 # =====
31
32 start_time = time.time()
33
34 con = psycopg2.connect( db_string )
35 con.set_isolation_level( psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT )
36
37 with con:
```

```

38
39 cur = con.cursor()
40
41 cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM gerenciador_tabelas ORDER BY
    tabela" )
42 postos = cur.fetchall()
43 c_um = 0
44 c_dois = 0
45 c_tres = 0
46
47 for posto in postos:
48
49     try:
50         cur.execute( "SELECT DISTINCT ano FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
    ORDER BY ano" % ( posto[0] ) )
51         anos = cur.fetchall()
52         n_dados = len( anos )
53         ano_final = anos[n_dados-1][0]
54
55         cur.execute( "SELECT estado,rodovia,km FROM gerenciador_tabelas WHERE
    tabela='%s'" % posto[0] )
56         result = cur.fetchall()
57         estado = result[0][0]
58         rodovia = result[0][1]
59         km = float( result[0][2] )
60
61         print( "\n" )
62         print( "Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s" % ( rodovia, estado, km )
    )
63
64         #print( anos )
65         print( "No de dados = %d" % int( n_dados ) )
66         print( "Ano final = %d" % ano_final )
67
68         if n_dados == 1:
69             c_um +=1
70             cur.execute( "UPDATE gerenciador_tabelas SET anos_validos = %d WHERE
    tabela='%s'" % ( int( n_dados ), posto[0] ) )
71             cur.execute( "UPDATE gerenciador_tabelas SET ano_final = %d WHERE
    tabela='%s'" % ( ano_final, posto[0] ) )
72         elif n_dados ==2:
73             c_dois +=1
74             cur.execute( "UPDATE gerenciador_tabelas SET anos_validos = %d WHERE
    tabela='%s'" % ( int( n_dados ), posto[0] ) )

```

```

74     cur.execute( "UPDATE gerenciador_tabelas SET ano_final = %d WHERE
tabela='%s'" % ( ano_final, posto[0] ) )
75     elif n_dados >= 3:
76         c_tres +=1
77         cur.execute( "UPDATE gerenciador_tabelas SET anos_validos = %d WHERE
tabela='%s'" % ( int( n_dados ), posto[0] ) )
78         cur.execute( "UPDATE gerenciador_tabelas SET ano_final = %d WHERE
tabela='%s'" % ( ano_final, posto[0] ) )
79
80     except:
81         n_dados = 0
82         cur.execute( "UPDATE gerenciador_tabelas SET anos_validos = %d WHERE
tabela='%s'" % ( int( n_dados ), posto[0] ) )
83
84 soma = c_um + c_dois + c_tres
85
86 print( "\n" )
87 print( "Postos com 1 ano válido = %d e representa %f" % ( int( c_um ), (
c_um/soma) ) )
88 print( "Postos com 2 anos válidos = %d e representa %f" % ( int( c_dois ),
(c_dois/soma) ) )
89 print( "Postos com 3 ou mais anos válidos = %d e representa %f" % ( int(
c_tres ), (c_tres/soma) ) )
90
91 con.close()
92
93 end_time = time.time()
94 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
95 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
)
96 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60
97
98 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))

```

I Script para projetar o VMDa dos postos para o ano de projeto

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para projetar o VMDa dos postos para o ano de projeto
10 #2021-07-28
11
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_string = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16 ano_proj = 2018 #Ano de Projeto
17
18 # =====
19 #IMPORTS
20
21 import time
22 import math
23
24 from numpy.lib.function_base import average
25 import psycopg2
26 import numpy as np
27 import matplotlib.pyplot as plt
28 import sys
29 import statsmodels.api as sm
30
31 # =====
32 #FUNÇÕES
33
34 # =====
35
36 start_time = time.time()
37
38 con = psycopg2.connect( db_string )
39 con.set_isolation_level( psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT )
```

```

40
41 with con:
42
43     cur = con.cursor()
44
45     cur.execute( "DELETE FROM vmda_projetado" )
46
47     #Postos com VMDa observado/expandido no ano de projeto
48     cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM gerenciador_tabelas WHERE
49         ano_final = %d ORDER BY tabela" % ano_proj )
50     postos_2018 = cur.fetchall()
51
52     for posto in postos_2018:
53
54         cur.execute( "SELECT gid FROM gerenciador_tabelas WHERE tabela='%s'" %
55             posto[0] )
56         result = cur.fetchall()
57         gid = result[0][0]
58
59         cur.execute( "SELECT estado,rodovia,km FROM gerenciador_tabelas WHERE
60             tabela='%s'" % posto[0] )
61         result = cur.fetchall()
62         estado = result[0][0]
63         rodovia = result[0][1]
64         km = float( result[0][2] )
65
66         cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
67             ' ORDER BY sentido" % posto[0] )
68         sentidos = cur.fetchall()
69
70         for sentido in sentidos:
71
72             cur.execute( "SELECT DISTINCT vmda FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
73                 AND sentido = '%s' AND ano = %d" % ( posto[0], sentido[0], ano_proj ) )
74             vmda = cur.fetchall()[0][0]
75
76             print( "\n" )
77             print( "Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s, Sentido = %s" % ( rodovia,
78                 estado, km, sentido[0] ) )
79             print( "O posto apresentou VMDa observado ou expandido para o ano de
80                 projeto")
81             print( "VDMa = %d" % vmda )

```

```

75     cur.execute( "INSERT INTO vmda_projetado (tabela, sentido, vmda)
VALUES ('%s', '%s', %d)" % ( posto[0], sentido[0], vmda ) )
76
77     #Atualizando o banco de dados dos postos com os volumes projetados
78
79     if sentido[0] == "C":
80
81         cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_c = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
82         #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda)
83
84     elif sentido[0] == "D":
85
86         cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_d = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
87         #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda )
88
89     #Postos sem VMDa observado/expandido no ano de projeto cuja projeção será
por Linha de Tendência (amostra de anos válidos >= 3)
90     cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM gerenciador_tabelas WHERE
ano_final <> '%s' AND anos_validos >= 3 ORDER BY tabela" % ano_proj )
91     postos_lt = cur.fetchall()
92     print( len(postos_lt) )
93
94     for posto in postos_lt:
95
96         cur.execute( "SELECT gid FROM gerenciador_tabelas WHERE tabela='%s'" %
posto[0] )
97         result = cur.fetchall()
98         gid = result[0][0]
99
100        cur.execute( "SELECT estado,rodovia,km FROM gerenciador_tabelas WHERE
tabela='%s'" % posto[0] )
101        result = cur.fetchall()
102        estado = result[0][0]
103        rodovia = result[0][1]
104        km = float( result[0][2] )
105
106        cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
' ORDER BY sentido" % posto[0] )
107        sentidos = cur.fetchall()
108
109        for sentido in sentidos:

```

```

110
111     cur.execute( "SELECT DISTINCT ano FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
AND sentido = '%s' ORDER BY ano" % ( posto[0], sentido[0] ) )
112     anos = cur.fetchall()
113
114     array_anos = []
115     array_vmda = []
116
117     for ano in anos:
118
119         cur.execute( "SELECT vmda FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s' AND
sentido = '%s' AND ano = '%s'" % ( posto[0], sentido[0], ano[0] ) )
120         vmda = cur.fetchall()
121         array_anos.append( ano[0] )
122         array_vmda.append( vmda[0][0] )
123
124     y = array_vmda
125     x = sm.add_constant( array_anos )
126     model = sm.OLS(y, x)
127     results = model.fit()
128     a = results.params[1]
129     b = results.params[0]
130
131     vmda = np.polyval([a, b], ano_proj)
132
133     print( "\n" )
134     print( "Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s, Sentido = %s" % ( rodovia,
estado, km, sentido[0] ) )
135     print( "0 posto não apresentou VMDa observado ou expandido para o ano
de projeto e realizou a Linha de Tendência do VMDa")
136     print( "VMDa = %d" % vmda )
137     cur.execute( "INSERT INTO vmda_projetado (tabela, sentido, vmda)
VALUES ('%s', '%s', %d)" % ( posto[0], sentido[0], vmda) )
138
139     #Atualizando o banco de dados dos postos com os volumes projetados
140
141     if sentido[0] == "C":
142
143         cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_c = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
144         #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda)
145
146     elif sentido[0] == "D":

```

```

147
148     cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_d = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
149     #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda )
150
151     #def f(t):
152         #return a * t + b
153
154     #plt.plot(x, y, 'ko' )
155     #plt.plot(x, f(x), 'k-' )
156     #plt.xlabel( 'anos' )
157     #plt.ylabel( 'VMDa' )
158     #plt.ticklabel_format( useOffset=False)
159     #plt.show()
160
161     #sys.exit(0)
162
163 #Postos sem VMDa observado/expandido no ano de projeto cuja projeção será
por Projeção Linear usando taxa de crescimento própria (amostra de anos v
álidos = 2)
164 cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM gerenciador_tabelas WHERE
ano_final <> '%s' AND anos_validos = 2 ORDER BY tabela" % ano_proj )
165 postos_pl = cur.fetchall()
166 print( len(postos_pl) )
167
168 for posto in postos_pl:
169
170     cur.execute( "SELECT gid FROM gerenciador_tabelas WHERE tabela='%s'" %
posto[0] )
171     result = cur.fetchall()
172     gid = result[0][0]
173
174     cur.execute( "SELECT estado,rodovia,km FROM gerenciador_tabelas WHERE
tabela='%s'" % posto[0] )
175     result = cur.fetchall()
176     estado = result[0][0]
177     rodovia = result[0][1]
178     km = float( result[0][2] )
179
180     cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s
' ORDER BY sentido" % posto[0] )
181     sentidos = cur.fetchall()
182

```

```

183     for sentido in sentidos:
184
185         cur.execute( "SELECT DISTINCT ano FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
AND sentido = '%s' ORDER BY ano" % ( posto[0], sentido[0] ) )
186         anos = cur.fetchall()
187         ano_base = anos[0][0]
188         ano_n = anos[1][0]
189         var = ano_proj - ano_n
190
191         cur.execute( "SELECT DISTINCT vmda FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
AND sentido = '%s' AND ano = %d" % ( posto[0], sentido[0], ano_base ) )
192         vmda_base = cur.fetchall()[0][0]
193
194         cur.execute( "SELECT DISTINCT vmda FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
AND sentido = '%s' AND ano = %d" % ( posto[0], sentido[0], ano_n ) )
195         vmda_n = cur.fetchall()[0][0]
196
197         tx_cres = ((vmda_n/vmda_base)-1)
198         vmda = vmda_n * ( 1 + tx_cres * var )
199
200         print( "\n" )
201         print( "Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s, Sentido = %s" % ( rodovia,
estado, km, sentido[0] ) )
202         print( "0 posto não apresentou VMDa observado ou expandido para o ano
de projeto e realizou a Projeção Linear do VMDa" )
203         print( "VMDa = %d" % vmda )
204         cur.execute( "INSERT INTO vmda_projetado (tabela, sentido, vmda)
VALUES ('%s', '%s', %d)" % ( posto[0], sentido[0], vmda) )
205
206         #Atualizando o banco de dados dos postos com os volumes projetados
207
208         if sentido[0] == "C":
209
210             cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_c = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
211             #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda )
212
213         elif sentido[0] == "D":
214
215             cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_d = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
216             #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda )
217

```

```

218 #Calculando a taxa de crescimento anual global da Projeção Linear
219 cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM gerenciador_tabelas WHERE
anos_validos = 2 ORDER BY tabela" )
220 postos_anos2 = cur.fetchall()
221
222 tx_cres_global_array = []
223
224 for posto in postos_anos2:
225
226     cur.execute( "SELECT DISTINCT ano FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
ORDER BY ano" % ( posto[0] ) )
227     anos = cur.fetchall()
228     ano_base = anos[0][0]
229     ano_n = anos[1][0]
230
231     cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
' ORDER BY sentido" % posto[0] )
232     sentidos = cur.fetchall()
233
234     tx_cres_array = []
235
236     for sentido in sentidos:
237
238         cur.execute( "SELECT DISTINCT vmda FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
AND sentido = '%s' AND ano = %d" % ( posto[0], sentido[0], ano_base ) )
239         vmda_base = cur.fetchall()[0][0]
240
241         cur.execute( "SELECT DISTINCT vmda FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
AND sentido = '%s' AND ano = %d" % ( posto[0], sentido[0], ano_n ) )
242         vmda_n = cur.fetchall()[0][0]
243
244         tx_cres = ((vmda_n/vmda_base)-1)
245         tx_cres_array.append( tx_cres )
246
247     tx_cres_global_array.append( average(tx_cres_array) )
248
249 tx_cres_global = average(tx_cres_global_array)
250 print( "\n" )
251 print( "Taxa de Crescimento Global = %f %" % (100 * tx_cres_global) )
252
253 #Postos sem VMDa observado/expandido no ano de projeto cuja projeção será
por Projeção Linear usando taxa de crescimento global (amostra de anos vá
lidos = 1)

```

```

254 cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM gerenciador_tabelas WHERE
      ano_final <> '%s' AND anos_validos = 1 ORDER BY tabela" % ano_proj )
255 postos_pl = cur.fetchall()
256 print( len(postos_pl) )
257
258 for posto in postos_pl:
259
260     cur.execute( "SELECT gid FROM gerenciador_tabelas WHERE tabela='%s'" %
      posto[0] )
261     result = cur.fetchall()
262     gid = result[0][0]
263
264     cur.execute( "SELECT estado,rodovia,km FROM gerenciador_tabelas WHERE
      tabela='%s'" % posto[0] )
265     result = cur.fetchall()
266     estado = result[0][0]
267     rodovia = result[0][1]
268     km = float( result[0][2] )
269
270     cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
      ' ORDER BY sentido" % posto[0] )
271     sentidos = cur.fetchall()
272
273     for sentido in sentidos:
274
275         cur.execute( "SELECT DISTINCT ano FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'
      AND sentido = '%s' ORDER BY ano DESC LIMIT 1" % ( posto[0], sentido[0] )
      )
276         ano_base = cur.fetchall()[0][0]
277         var = ano_proj - ano_base
278
279         cur.execute( "SELECT vmda FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s' AND
      sentido = '%s' AND ano = %d" % ( posto[0], sentido[0], ano_base ) )
280         vmda_base = cur.fetchall()
281
282         vmda = vmda_base[0][0] * ( 1 + tx_cres_global * var )
283
284         print( "\n" )
285         print( "Rodovia = %s, Estado = %s, Km = %s, Sentido = %s" % ( rodovia,
      estado, km, sentido[0] ) )
286         print( "0 posto não apresentou VMDa observado ou expandido para o ano
      de projeto e realizou a Projeção Linear do VMDa")
287         print( "VMDa = %d" % vmda )

```

```

288     cur.execute( "INSERT INTO vmda_projetado (tabela, sentido, vmda)
VALUES ('%s', '%s', %d)" % ( posto[0], sentido[0], vmda) )
289
290     #Atualizando o banco de dados dos postos com os volumes projetados
291
292     if sentido[0] == "C":
293
294         cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_c = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
295         #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda)
296
297     elif sentido[0] == "D":
298
299         cur.execute( "UPDATE postos_pnct SET volume_d = %d WHERE gid = %d" %
( vmda, gid ) )
300         #print( "VMDa Projetado = %f" % vmda )
301
302 con.close()
303
304 end_time = time.time()
305 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
306 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
)
307 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60
308
309 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))

```

J *Script* para associar os dados de VMDa com *links* na camada de rodovias

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para associar os dados de VMDa de postos de contagem para links na
   camada de rodovias.
10 #2021-07-10
11
12 # =====
13 #IMPORTS
14
15 import psycopg2
16 import time
17 import math
18
19 # =====
20 #VARIÁVEIS
21
22 db_string = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
23
24 # =====
25 #FUNÇÕES
26
27 # =====
28 #CONEXÃO
29
30 start_time = time.time()
31
32 con = psycopg2.connect( db_string )
33 con.set_isolation_level(psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
34
35 with con:
36
37     cur = con.cursor()
38
```

```

39 cur.execute( "SELECT DISTINCT tabela FROM vmda_projetado ORDER BY tabela")
40 postos = cur.fetchall()
41
42 for posto in postos:
43
44     cur.execute( "SELECT vmda FROM vmda_projetado WHERE tabela = '%s' AND
45     sentido = 'C'" % posto[0] )
46     vmda_cres = cur.fetchall()[0][0]
47
48     cur.execute( "SELECT vmda FROM vmda_projetado WHERE tabela = '%s' AND
49     sentido = 'D'" % posto[0] )
50     vmda_decres = cur.fetchall()[0][0]
51
52     cur.execute( "SELECT gid_base FROM vmda_todos WHERE tabela = '%s'" %
53     posto[0] )
54     gid_posto = cur.fetchall()[0][0]
55
56     select_string = "SELECT gid, ST_Distance( ( SELECT geom FROM postos_pnct
57     WHERE gid=%d ), geom ) AS distancia FROM snv_brasil ORDER BY distancia
58     LIMIT 1" % gid_posto
59     print( select_string )
60     cur.execute( select_string )
61     result = cur.fetchall()
62     gid_snv = result[0][0]
63
64     update_string = "UPDATE snv_brasil SET pnct_c=%d, pnct_d=%d WHERE gid=%d
65     " % ( vmda_cres, vmda_decres, gid_snv )
66     print( update_string )
67     cur.execute( update_string )
68
69 con.close()
70
71 end_time = time.time()
72 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
73 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
74     )
75 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60 - tempo_horas
76     * 3600
77
78 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
79     tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))

```

K *Script* para adequar a camada de centroides das cidades

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para transformar a camada de centroides das cidades agrupando
   centroides que se conectam ao mesmo link
10 #2021-07-11
11
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_string = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16
17 encontra_link_mais_proximo = False
18
19 # =====
20 #IMPORTS
21
22 import time
23 import psycopg2
24 import math
25
26 # =====
27 #FUNÇÕES
28
29 # =====
30 #CONEXÃO
31
32 start_time = time.time()
33
34 con = psycopg2.connect( db_string )
35 con.set_isolation_level(psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
36
37 with con:
38
```

```

39 cur = con.cursor()
40 cur.execute( "DELETE FROM centroides_agrup" )
41
42 # =====
43 # Encontrar o link mais próximo de cada centroide (na camada original)
44 if encontra_link_mais_proximo:
45     cur.execute( "SELECT gid from centroides" )
46     gids = cur.fetchall()
47
48     for gid in gids:
49
50         cur.execute( "SELECT gid, ST_Distance( (SELECT geom FROM centroides
51 WHERE gid=%d), geom ) AS dist FROM snv_brasil ORDER BY dist LIMIT 1" %
52 gid[0] )
53         link_gid = cur.fetchall()[0][0]
54
55         cur.execute( "UPDATE centroides SET link_relac=%d WHERE gid=%d" % (
56 link_gid, gid[0] ) )
57
58 # =====
59 #Criar a nova camada de centroides
60
61 cur.execute( "SELECT DISTINCT link_relac FROM centroides" )
62 gids_links = cur.fetchall()
63
64 for gid_link in gids_links:
65
66     cur.execute( "SELECT AVG(ST_X(geom)), AVG(ST_Y(geom)) FROM centroides
67 WHERE gid IN (SELECT gid FROM centroides WHERE link_relac=%d)" % gid_link
68 [0] )
69     result = cur.fetchall()
70     x_medio = result[0][0]
71     y_medio = result[0][1]
72
73     print( "x_medio = %f" % x_medio )
74     print( "y_medio = %f" % y_medio )
75
76     cur.execute( "INSERT INTO centroides_agrup (link_relac, geom) VALUES ( %
77 d, ST_GeomFromText('POINT(%f %f)', 4674) )" % ( gid_link[0], x_medio,
78 y_medio ) )
79
80 con.close()

```

```
75 end_time = time.time()
76 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
77 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
   )
78 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60 - tempo_horas
   * 3600
79
80 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
   tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))
```

L *Script* para para criar a matriz OD de centroides agrupados

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para criar a nova Matriz OD dos centroides agrupados
10 #2021-07-11
11
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_string = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16 input_xls = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\00_MatrizOD\\
17             Matrizes_PNT2016-2017.xlsx"
18
19 # =====
20 #IMPORTS
21
22 import time
23 import psycopg2
24 import pandas as pd
25 import math
26 from functools import reduce
27
28 # =====
29 def pega_viagens( _origem, _destino ):
30
31     total = 0
32
33     valor = leves.loc[leves['O/D'] == _origem, _destino].iloc[0]
34     if not math.isnan( valor ):
35         total += valor
36
37     valor = pesados_i.loc[pesados_i['O/D'] == _origem, _destino].iloc[0]
38     if not math.isnan( valor ):
```

```

39     total += valor
40
41     valor = pesados_ii.loc[pesados_ii['0/D'] == _origem, _destino].iloc[0]
42     if not math.isnan( valor ):
43         total += valor
44
45     return total
46
47 # =====
48
49 # =====
50
51 start_time = time.time()
52
53 con = psycopg2.connect( db_string )
54 con.set_isolation_level(psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
55
56 with con:
57
58     cur = con.cursor()
59
60     # Carregando os dados de matriz OD
61
62     print( "carregando matriz leves..." )
63     leves = pd.read_excel( input_xls, sheet_name="Matriz_L" )
64     leves = leves.fillna(0)
65     print( leves )
66
67     print( "carregando matriz pesados_i..." )
68     pesados_i = pd.read_excel( input_xls, sheet_name="Matriz_P_I" )
69     pesados_i = pesados_i.fillna(0)
70     print( pesados_i )
71
72     print( "carregando matriz pesados_ii..." )
73     pesados_ii = pd.read_excel( input_xls, sheet_name="Matriz_P_II" )
74     pesados_ii = pesados_ii.fillna(0)
75     print( pesados_ii )
76
77     od_original = reduce( lambda a, b: a.add(b), [leves.iloc[:,1:], pesados_i.
78         iloc[:,1:], pesados_ii.iloc[:,1:]] )
79     origens = leves.iloc[:,0]
80     od_original.insert( 0, "0/D", origens )
81     print( od_original )

```

```

81
82 # Criar a matriz OD para a nova configuração de centroides
83
84 cur.execute( "SELECT DISTINCT link_relac FROM centroides ORDER BY
85             link_relac" )
86
87 new_centroides_ids = [item[0] for item in cur.fetchall()]
88
89 Matrix = [[0 for x in range(len(new_centroides_ids))] for y in range(len(
90             new_centroides_ids))]
91
92 # -----
93
94 conta_processados = 0
95
96 cur.execute( "SELECT cod_matriz FROM centroides ORDER BY cod_matriz" )
97
98 cod_centroide = [item[0] for item in cur.fetchall()]
99
100 for cod_orig in cod_centroide:
101
102     for cod_dest in cod_centroide:
103
104         conta_processados += 1
105
106         viagens = od_original.loc[od_original['O/D'] == cod_orig, cod_dest].
107         iloc[0]
108
109         if viagens > 0:
110
111             cur.execute( "SELECT link_relac FROM centroides WHERE cod_matriz=%d"
112             % cod_orig )
113             link_relac_orig = cur.fetchall()[0][0]
114             x = new_centroides_ids.index( link_relac_orig )
115             #print( "x = %d" % x )
116
117             cur.execute( "SELECT link_relac FROM centroides WHERE cod_matriz=%d"
118             % cod_dest )
119             link_relac_dest = cur.fetchall()[0][0]
120             y = new_centroides_ids.index( link_relac_dest )
121             #print( "y = %d" % y )
122
123             print( "Avanço = %.2f%%" % ( conta_processados / ( len(
124             cod_centroide ) ** 2 ) * 100.0 ) )
125             print( "x = %d; y = %d" % ( x, y ) )

```

```

118     print( "viagens = %d" % viagens )
119     print( "Matrix[x][y] antes = %d" % Matrix[x][y] )
120
121     Matrix[x][y] = Matrix[x][y] + viagens
122
123     print( "Matrix[x][y] depois = %d" % Matrix[x][y] )
124
125     # -----
126
127     new_matrix_file = open( "new_matrix.csv", "w" )
128
129     new_matrix_file.write( ",%s\n" % ",".join( [str(item) for item in
130         new_centroides_ids] ) )
131
132     for x,origem in enumerate( new_centroides_ids ):
133
134         line = "%s," % origem
135
136         for y,destino in enumerate( new_centroides_ids ):
137
138             line += "%d," % Matrix[x][y]
139
140             line = line[:-1] + "\n"
141             new_matrix_file.write( line )
142
143     new_matrix_file.close()
144
145     con.close()
146
147     end_time = time.time()
148     tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
149     tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
150         )
151     tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60 - tempo_horas
152         * 3600
153
154     print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
155         tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))

```

M *Script* para associar dados de VMDa com a malha

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4 #Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
5 #Departamento de Engenharia Civil (ECV)
6 #Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
7 #Aluno: Paulo Henrique Junkes Furlanetto
8 #Orientador: Alexandre H. Coelho
9 #Script para colocar no PostgreSQL os dados de VMDa global alocado na malha
   viária
10 #2021-08-14
11
12 # =====
13 #VARIÁVEIS
14
15 db_string = "host=localhost dbname=programacao user=paulo password=phjf"
16 arquivo_vmda = "C:\\Users\\paulo\\Documents\\02_Experimento\\02_Modelo_VISUM
   \\dados_links.csv"
17
18 # =====
19 #IMPORTS
20
21 import time
22 import math
23 import psycopg2
24
25 # =====
26 #FUNÇÕES
27
28 # =====
29
30 start_time = time.time()
31
32 con = psycopg2.connect( db_string )
33 con.set_isolation_level(psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
34
35 with con:
36
37     cur = con.cursor()
38
```

```

39 cur.execute( "DELETE FROM vmda_visum" )
40
41 conta_linha = 0
42 for line in open(arquivo_vmda, "r").readlines():
43
44     if conta_linha > 0:
45
46         line = line.rstrip()
47         partes = line.split(";")
48
49         gid = partes[0]
50         from_n = partes[1]
51         to_n = partes[2]
52         sentido = partes[10]
53         vmda = int( partes[11] )
54
55         cur.execute( "INSERT INTO vmda_visum (gid, from_n, to_n, sentido, vmda
) VALUES ( '%s', '%s', '%s', '%s', %d)" % ( gid, from_n, to_n, sentido,
vmda ) )
56
57         conta_linha += 1
58
59 print("Dados do VISUM inseridos no banco")
60
61 cur.execute( "SELECT DISTINCT gid FROM vmda_visum ORDER BY gid")
62 gids = cur.fetchall()
63
64 for gid in gids:
65
66     cur.execute( "SELECT DISTINCT sentido FROM vmda_visum WHERE gid = '%s'"
% ( gid[0] ) )
67     sentidos = cur.fetchall()
68
69     for sentido in sentidos:
70
71         cur.execute( "SELECT vmda FROM vmda_visum WHERE gid = '%s' AND sentido
= '%s'" % ( gid[0], sentido[0] ) )
72         vmda = cur.fetchall()
73
74         if sentido[0] == "C":
75             vmda_c = vmda[0][0]
76
77         elif sentido[0] == "D":

```

```

78     vmda_d = vmda[0][0]
79
80     vmda_total = vmda_c + vmda_d
81
82     #print(vmda_c)
83     #print(vmda_d)
84     #print(vmda_total)
85
86     cur.execute( "UPDATE snv_brasil SET vmda_c = %d WHERE gid = '%s'" % (
vmda_c, gid[0] ) )
87     cur.execute( "UPDATE snv_brasil SET vmda_d = %d WHERE gid = '%s'" % (
vmda_d, gid[0] ) )
88     cur.execute( "UPDATE snv_brasil SET vmda_total = %d WHERE gid = '%s'" %
( vmda_total, gid[0] ) )
89
90 con.close()
91
92 end_time = time.time()
93 tempo_horas = math.trunc( (end_time - start_time)/3600 )
94 tempo_minutos = math.trunc( ((end_time - start_time)/60) - tempo_horas * 60
)
95 tempo_segundos = (end_time - start_time) - tempo_minutos * 60 - tempo_horas
* 3600
96
97 print("FIM! Tempo de Execução = %s horas, %s minutos e %s segundos." % (
tempo_horas, tempo_minutos, tempo_segundos))

```

N *Script* para criar a tabela de localização geográfica dos postos de contagem

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 # =====
3 # Alexandre Hering Coelho
4 # Script para criar a tabela geo de postos.
5 # =====
6
7 import psycopg2
8 import sys
9
10 # =====
11
12 database = "host=localhost dbname=clusters user=alexandre password=alex"
13
14 # =====
15
16 con = psycopg2.connect( database )
17 con.set_isolation_level( psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT )
18
19 with con:
20
21     cur = con.cursor()
22
23     cur.execute( "DROP TABLE IF EXISTS postos_geo" )
24     cur.execute( "CREATE TABLE postos_geo (estado character(2), rodovia
25         character(6), km real)" )
26     cur.execute( "ALTER TABLE postos_geo ADD COLUMN gid SERIAL NOT NULL" )
27     cur.execute( "SELECT AddGeometryColumn('postos_geo', 'geom', 4326, 'POINT
28         ', 2)" )
29
30     cur.execute( "SELECT tabela FROM tabelas ORDER BY tabela" )
31     tabelas = cur.fetchall()
32
33     for tabela in tabelas:
34
35         print( tabela[0] )
36
37         cur.execute( "SELECT estado,rodovia,km FROM tabelas WHERE tabela='%s'" %
38             tabela[0] )
39         result = cur.fetchall()
```

```

37
38     estado = result[0][0]
39     rodovia = result[0][1]
40     km = float( result[0][2] )
41
42     cur.execute( "SELECT gid FROM snv_2019 WHERE sg_uf='%s' AND vl_br='%s'
43     AND vl_km_inic<%f AND vl_km_fina>=%f AND nm_tipo_tr='Eixo Principal'" % (
44     estado, rodovia.split( "-" )[1], km, km ) )
45     result = cur.fetchall()
46
47     if len( result ) == 0:
48         print( "Nenhum segmento encontrado para km = %f" % km )
49         sys.exit( 0 )
50
51     if len( result ) > 1:
52         print( "Mais do que um segmento encontrado para km = %f" % km )
53         sys.exit( 0 )
54
55     gid_snv = result[0][0]
56     cur.execute( "SELECT vl_km_inic, vl_km_fina FROM snv_2019 WHERE gid=%s"
57     % gid_snv )
58     result = cur.fetchall()
59     ini = float( result[0][0] )
60     fim = float( result[0][1] )
61
62     posicao_ponto = (km - ini) / (fim - ini)
63
64     cur.execute( "SELECT ST_AsText(ST_LineInterpolatePoint((SELECT geom FROM
65     snv_2019 WHERE gid='%s'), %f))" % ( gid_snv, posicao_ponto ) )
66     geom_ponto = cur.fetchall()[0][0]
67
68     cur.execute( "INSERT INTO postos_geo (estado,rodovia,km,geom) VALUES ('%
69     s', '%s', %f, ST_GeomFromText('%s', 4326))" % ( estado, rodovia, km,
70     geom_ponto ) )
71
72 con.close()
73
74 print( "FIM!" )

```

O *Script* que automatiza o *download* dos dados de contagem do PNCT

```
1 # Anderson Schmitt - 01/05/2020
2 # Automatiza o download dos dados de contagem do PNCT - http://servicos.dnit
  .gov.br/dadospnct/ContagemContinua
3
4 from selenium import webdriver
5 from selenium.webdriver.firefox.options import Options
6 from selenium.webdriver.common.keys import Keys
7 from selenium.webdriver.support.wait import WebDriverWait
8 from selenium.webdriver.support import expected_conditions as EC
9 from selenium.webdriver.common.by import By
10 from selenium.webdriver.common.action_chains import ActionChains
11 import shutil, os, glob
12 import time
13
14 def moveAllFilesinDir(srcDir, dstDir):
15     # Check if both the are directories
16     if os.path.isdir(srcDir) and os.path.isdir(dstDir) :
17         # Iterate over all the files in source directory
18         for filePath in glob.glob(srcDir + '/*'):
19             # Move each file to destination Directory
20             shutil.move(filePath, dstDir);
21     else:
22         print("srcDir & dstDir should be Directories")
23
24 #####
25
26 caminhoArquivos = '/home/anderson/Área de Trabalho/brutosDNIT/downloads'
27
28 #####
29
30 lista_feitos = glob.glob('*/*' + os.path.sep)
31 lista_feitos = [sub[ : -1] for sub in lista_feitos]
32
33 #http://allselenium.info/file-downloads-python-selenium-webdriver/
34 options = Options()
35 options.set_preference("browser.download.folderList", 2)
36 options.set_preference("browser.download.manager.showWhenStarting", False)
37 options.set_preference("browser.download.dir", "/data")
```

```

38 options.set_preference("browser.helperApps.neverAsk.saveToDisk", "
    application/octet-stream,application/vnd.ms-excel")
39 options.set_preference("browser.download.dir", caminhoArquivos)
40 driver = webdriver.Firefox(options=options)
41
42 actions = ActionChains(driver)
43 driver.get("http://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/ContagemContinua")
44
45 driver.implicitly_wait(10)
46
47 UF = driver.find_element_by_id("UF")
48 all_options_UF = UF.find_elements_by_tag_name("option")[1:]
49
50 for estado in all_options_UF:
51     print("Estado: %s" % estado.get_attribute("value"))
52     estado.click()
53
54     BR = driver.find_element_by_id("BR")
55     all_options_BR = BR.find_elements_by_tag_name("option")[1:]
56
57     for rodovia in all_options_BR:
58         print("Rodovia: %s" % rodovia.get_attribute("value"))
59         rodovia.click()
60
61
62     #####
63     time.sleep(5)
64     #wait = WebDriverWait(driver, 30).until(EC.element_to_be_clickable((
65 By.XPATH, "/html/body/div[2]/div[2]/div/div[2]/div[1]/div[2]/form/div[3]/
66 div/button")))
67     equipamentos = driver.find_element_by_xpath("/html/body/div[2]/div
68 [2]/div/div[2]/div[1]/div[2]/form/div[3]/div/button")
69     equipamentos.click()
70
71     #wait = WebDriverWait(driver, 30).until(EC.element_to_be_clickable((
72 By.XPATH, "/html/body/div[2]/div[2]/div/div[2]/div[1]/div[2]/form/div[3]/
73 div/div/a")))
74     todos = driver.find_element_by_xpath("/html/body/div[2]/div[2]/div/
75 div[2]/div[1]/div[2]/form/div[3]/div/div/a")
76     todos.click()
77     equipamentos.click() #fecha
78     buscar = driver.find_element_by_xpath("/html/body/div[2]/div[2]/div/
79 div[2]/div[1]/div[2]/form/div[4]/input")

```

```

73     buscar.click()
74
75
76     #####
77
78
79     equipamentos2 = driver.find_element_by_xpath('//*[@id="myTab"']')
80     equipamentos2 = WebDriverWait(driver, 15).until(EC.
element_to_be_clickable((By.XPATH, '/html/body/div[2]/div[4]/div/div/div/
div[1]/div[2]/ul/li')))
81     equipamentos2 = equipamentos2.find_elements_by_xpath('/html/body/div
[2]/div[4]/div/div/div/div[1]/div[2]/ul/li')
82
83     for equipamento in equipamentos2:
84 #         time.sleep(5)
85         equipamento.click()
86         print('Equipamento:' + equipamento.text)
87
88         if equipamento.text.replace('/', '_').replace(' ', '_') in
lista_feitos:
89             print(equipamento.text.replace('/', '_').replace(' ', '_
') + ' ja feito')
90
91         else:
92             diretorio = '/home/anderson/Área de Trabalho/brutosDNIT/' +
equipamento.text.replace('/', '_').replace(' ', '_')
93             os.mkdir(diretorio)
94
95             try:
96                 anos = driver.find_element_by_xpath('/html/body/div[2]/
div[4]/div/div/div/div[3]/div/div/div[2]')
97                 lista_anos = anos.find_elements_by_tag_name("a")
98                 #time.sleep(5)
99                 WebDriverWait(driver, 10).until(EC.
element_to_be_clickable((By.XPATH, '/html/body/div[2]/div[4]/div/div/div/
div[3]/div/div/div[2]')))
100                 lista_anos[0].click()
101             except:
102                 a = 1
103                 while a < 10:
104                     try:
105                         anos = driver.find_element_by_xpath('/html/body/
div[2]/div[4]/div/div/div/div[3]/div[' + str(a) + ']/div/div[2]')

```

```

106         lista_anos = anos.find_elements_by_tag_name("a")
107         #time.sleep(5)
108         WebDriverWait(driver, 10).until(EC.
element_to_be_clickable((By.XPATH, '/html/body/div[2]/div[4]/div/div/div/
div[3]/div[' + str(a) + ']/div/div[2]'))))
109         lista_anos[0].click()
110         break
111     except:
112         a+=1
113
114
115     try:
116         caminho_mes_dia_quartis = '/html/body/div[2]/div[4]/div/
div/div/div[3]/div/div/div[3]/div/div[1]/div[3]'
117         mes_dia_quartis = driver.find_element_by_xpath(
caminho_mes_dia_quartis)
118         quartis = mes_dia_quartis.find_elements_by_tag_name("
input")
119         #lista_anos[0].click()
120         quartis[0].click()
121     except:
122         a = 1
123         while a < 10:
124             try:
125                 caminho_mes_dia_quartis = '/html/body/div[2]/div
[4]/div/div/div/div[3]/div[' + str(a) + ']/div/div[3]/div/div[1]/div[3]'
126                 mes_dia_quartis = driver.find_element_by_xpath(
caminho_mes_dia_quartis)
127                 quartis = mes_dia_quartis.
find_elements_by_tag_name("input")
128                 quartis[0].click()
129                 break
130             except:
131                 a+=1
132
133
134         print('Equipamento:' + equipamento.text)
135         for ano in lista_anos:
136             try:
137 #                 WebDriverWait(driver, 10).until(EC.
element_to_be_clickable(ano))
138                 ano.click()
139             except:

```

```

140         None
141         print("Ano: %s" % ano.get_attribute("id"))
142
143         mes_dia_quartis = driver.find_element_by_xpath(
144     caminho_mes_dia_quartis)
145         meses, dias = mes_dia_quartis.find_elements_by_tag_name(
146     "select")
147
148     #time.sleep(5)
149     lista_mes = meses.find_elements_by_tag_name("option") #
150     for no mes
151
152     for mes in lista_mes:
153         print("Mes: %s" % mes.get_attribute("value"))
154         mes.click()
155         #time.sleep(5)
156
157         lista_dias = dias.find_elements_by_tag_name("option"
158     )
159
160         for dia in lista_dias:
161             print("Dia: %s" % dia.get_attribute("value"))
162             dia.click()
163
164             export = driver.find_element_by_xpath(
165     caminho_mes_dia_quartis + '/span[2]/input').click()
166
167         moveAllFilesinDir(caminhoArquivos, diretorio)

```

P *Script* que organiza os dados de contagem do PNCT

```
1 # Anderson Schmitt - 15/05/2020
2 # Organizar os dados de contagem do PNCT - http://servicos.dnit.gov.br/
   dadospnct obtidos por meio do script 0_baixarDadosContagemDNIT.py
3
4 import os
5 import pandas as pd
6 from bs4 import BeautifulSoup
7 import glob
8
9 pastas = glob.glob('**/')
10
11 verificacao = []
12 #verifica se ja nao foi feito
13 for i in pastas:
14     csv = glob.glob(i+'*.csv')
15     if len(csv) > 0:
16         verificacao.append(False)
17     else:
18         verificacao.append(True)
19
20
21
22 #####
23 d = pastas[0]
24 for d in range(len(pastas)):
25     if verificacao[d]:
26
27         rodovia, estado, km0 , km = pastas[d].split('_')
28         km = km.strip('/')
29         tabelas = glob.glob(pastas[d] + '*.xls')
30
31         df_consolidado = pd.DataFrame()
32
33         for table in tabelas:
34             print('Extraindo tabela: '+table)
35             xls = pd.read_table(table, encoding='latin2')
36             conteudo = list(xls.iloc[30])[0]
37             data = BeautifulSoup(list(xls.iloc[7])[0], 'html.parser').
   find_all('span')[0].get_text()
38
```

```

39     soup = BeautifulSoup(conteudo, 'html.parser')
40
41
42     td = soup.find_all('td')
43
44     ls = []
45     for j in td:
46         ls.append(j.get_text())
47
48     horas = []
49     for i in range(len(ls)):
50         if ls[i] == ls[1]:
51             horas.append(ls[i-1:i+160])
52
53     linhas = []
54     for h in horas:
55         linhas.append(h[:15])
56         linhas.append([h[0]] + [h[1]] + h[15:28])
57         linhas.append([h[0]] + h[41:55])
58         linhas.append([h[0]] + [h[41]] + h[55:68])
59         linhas.append([h[0]] + h[81:95])
60         linhas.append([h[0]] + [h[81]] + h[95:108])
61         linhas.append([h[0]] + h[121:135])
62         linhas.append([h[0]] + [h[121]] + h[135:148])
63
64     df = pd.DataFrame(columns=('hora', 'quartil', 'sentido', 'vhq',
65 'c1', 'c2', 'c3', 'c4', 'c5', 'c6', 'c7', 'c8', 'c9', 'c10', 'c11'))
66     for i in range(len(linhas)):
67         df.loc[i] = linhas[i]
68
69     df['data'] = data
70     df['quartil'] = df['quartil'].str[:-1]
71     df['rodovia'] = rodovia
72     df['estado'] = estado
73     df['km'] = km
74
75     df_consolidado = pd.concat([df_consolidado, df])
76
77     sub_meses = ['Janeiro', 'Fevereiro', 'Março', 'Abril', 'Maio', '
78     Junho',
79                 'Julho', 'Agosto', 'Setembro', 'Outubro', 'Novembro', '
80     Dezembro']
81     n_meses = ['1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', '11', '12']

```

```

79
80     for i in range(len(sub_meses)):
81         df_consolidado['data'] = df_consolidado['data'].str.replace(
sub_meses[i], n_meses[i])
82
83         df_consolidado['data'] = pd.to_datetime(df_consolidado['data'],
dayfirst=True)
84
85         df_consolidado = df_consolidado[['estado', 'rodovia' , 'km' , 'sentido
', 'data', 'hora', 'quartil', 'c1', 'c2', 'c3', 'c4', 'c5', 'c6', 'c7', '
c8', 'c9', 'c10', 'c11']]
86         df_consolidado['hora'] = df_consolidado['hora'].astype(int)
87         df_consolidado = df_consolidado.sort_values(by=['data', 'hora', '
quartil'])
88
89
90         df_consolidado.to_csv(pastas[d] + pastas[d][: -1] + '_consolidado.csv'
, index=False, sep=';')
91
92     else:
93         print(str(d) + ' ' + pastas[d] + ' ja exportado')

```